

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Vjekoslav Krleža

Zagreb, 2014.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

DIPLOMSKI RAD

Voditelj rada:

Prof.dr.sc. Željko Šitum

Vjekoslav Krleža

Zagreb, 2014.

IZJAVA

Pod punom moralnom odgovornošću izjavljujem da sam diplomski rad na temu „Regulacija sile hidrauličke preše pomoću industrijskog PLC uređaja“ izradio samostalno koristeći se navedenom literaturom i znanjem stečenim tijekom studija.

ZAHVALA

Zahvaljujem se svojoj obitelji na moralnoj i financijskoj podršci, razumijevanju, strpljenju i povjerenju koje su mi pružili tijekom studija i za vrijeme izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem se voditelju rada, Prof.dr.sc. Željku Šitumu što mi je omogućio izradu diplomskog rada, zahvaljujem mu na kvalitetnoj i stručnoj pomoći, odvojenom vremenu, strpljenju i korisnim savjetima.

Sadržaj:

Sažetak	1
1 UVOD.....	2
2 HIDRAULIČKA PREŠA.....	4
2.1 Elektrohidraulički servosustavi općenito	4
2.2 Opis laboratorijske opreme.....	5
3 INDUSTRIJSKI PLC UREĐAJ	16
3.1 Karakteristike PLC uređaja proizvođača <i>Beckhoff</i>	17
3.1.1 Procesorska jedinica BK1120	18
3.1.2 Modulne kartice	20
3.1.3 Industrijsko računalo proizvođača <i>Beckhoff</i>	29
3.1.4 Povezivanje računala sa PLC uređajem	31
3.2 Programiranje PLC uređaja proizvođača <i>Beckhoff</i>	32
3.2.1 Konfiguracija PLC uređaja	34
3.2.2 Osnove programiranja u TwinCAT-u	37
4 IZRADA PROGRAMA	45
4.1 Izrada potprograma za skaliranje signala.....	46
4.2 Izrada potprograma za regulaciju	49
4.3 Izrada vizualizacije	54
5 EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE	57
6 ZAKLJUČAK.....	61
Literatura	62

Popis slika:

<i>Slika 2.1</i> Fotografija eksperimentalnog sustava.....	5
<i>Slika 2.2</i> Shema elektrohidrauličkog servosustava.....	7
<i>Slika 2.3</i> Servo ventil proizvođača „SCHNEIDER“	8
<i>Slika 2.4</i> Ovisnost protoka kroz ventil o ulaznom signalu.....	9
<i>Slika 2.5.</i> Crpka proizvođača „VIVOIL“	10
<i>Slika 2.6</i> Elektromotor proizvođača „KONČAR-MES“	11
<i>Slika 2.7.</i> Senzor sile proizvođača „Siemens“	12
<i>Slika 2.8</i> Senzor tlaka proizvođača „Siemens“	13
<i>Slika 2.9</i> Senzor pomaka proizvođača „Balluff“	14
<i>Slika 2.10</i> I/O priključni blok proizvođača „National Instruments“	14
<i>Slika 2.11</i> Raspored pinova na konektoru.....	15
<i>Slika 3.1</i> PLC uređaj proizvođača <i>Beckhoff</i>	17
<i>Slika 3.2</i> Procesorska jedinica <i>Beckhoff</i> BK1120.....	18
<i>Slika 3.3</i> Tehničke karakteristike <i>Beckhoff</i> BK1120.....	19
<i>Slika 3.4</i> Digitalni ulaz KL1104.....	20
<i>Slika 3.5</i> Tehničke karakteristike kartice KL1104.....	21
<i>Slika 3.6</i> Digitalni izlaz KL2408.....	22
<i>Slika 3.7</i> Tehničke karakteristike kartice KL2408.....	23
<i>Slika 3.8</i> Analogni ulaz <i>Beckhoff</i> KL3064.....	24
<i>Slika 3.9</i> Tehničke karakteristike kartice KL3064.....	25
<i>Slika 3.10</i> Analogni izlaz <i>Beckhoff</i> KS4032.....	26
<i>Slika 3.11</i> Tehničke karakteristike kartice KS4032.....	27
<i>Slika 3.12</i> Završna kartica KL9010.....	28
<i>Slika 3.13</i> Tehničke karakteristike kartice KL9010.....	28
<i>Slika 3.14</i> Industrijsko računalo proizvođača <i>Beckhoff</i>	29
<i>Slika 3.15</i> Karakteristike industrijskog računala proizvođača <i>Beckhoff</i>	30

<i>Slika 3.16</i> Spajanje opreme.....	31
<i>Slika 3.17</i> TwinCAT izbornik.....	32
<i>Slika 3.18</i> Postavke IP adresa.....	33
<i>Slika 3.19</i> Ulazak u System Manager.....	34
<i>Slika 3.20</i> Izgled System Manager-a.....	34
<i>Slika 3.21</i> Append Device.....	35
<i>Slika 3.22</i> Odabir uređaja.....	35
<i>Slika 3.23</i> Dodavanje modulnih kartica.....	36
<i>Slika 3.24</i> Prikaz modulnih kartica.....	36
<i>Slika 3.25</i> Otvaranje PLC Control programskog okruženja.....	37
<i>Slika 3.26</i> Otvaranje novog programa.....	38
<i>Slika 3.27</i> Izgled programskog okruženja.....	38
<i>Slika 3.28</i> Određivanje svojstava varijable.....	39
<i>Slika 3.29</i> Globalne varijable.....	40
<i>Slika 3.30</i> Pridruživanje varijable fizičkom priključku.....	41
<i>Slika 3.31</i> Sučelje za odabir biblioteke.....	42
<i>Slika 3.32</i> Struktura programa.....	43
<i>Slika 3.33</i> Dodavanje potprograma.....	43
<i>Slika 3.34</i> Odabir programskog jezika potprograma.....	44
<i>Slika 4.1</i> Blok dijagram regulacijskog kruga.....	45
<i>Slika 4.2</i> Skaliranje signala.....	46
<i>Slika 4.3</i> Funkcija skaliranje.....	47
<i>Slika 4.4</i> Izrada potprograma „mjerenja“	48
<i>Slika 4.5</i> Odabir funkcijskog bloka.....	49
<i>Slika 4.6</i> Funkcijski blok PID regulatora.....	50
<i>Slika 4.7</i> Struktura PID regulatora.....	51
<i>Slika 4.8</i> Potprogram za regulaciju.....	52

<i>Slika 4.9</i> Varijable potprograma Regulator.....	53
<i>Slika 4.10</i> Vizualizacija programa.....	54
<i>Slika 4.11</i> Izrada tipke.....	55
<i>Slika 5.1</i> Prikaz vizualizacije.....	57
<i>Slika 5.2</i> Rezultati regulacije sa PI regulatorom.....	58
<i>Slika 5.3</i> Rezultati regulacije sa PID regulatorom.....	59

Sažetak

Tema ovog diplomskog rada je regulacija sile hidrauličke preše pomoću industrijskog PLC uređaja. Hidrauličke preše su danas vrlo često korišteni alatni strojevi u industriji. Suvremene hidrauličke preše posjeduju sve više elektroničkih i mikroprocesorski upravljanih komponenti, što im uz prednosti klasične hidraulike (postizanje velikih sila, ostvarenje promjenljivog iznosa sile i pomaka u vremenu, dobro podmazivanje dijelova, relativno male komponente i dr.) daje i dobra svojstva elektronike (električni upravljački signali, brzina odziva, mogućnost spremanja i obrade signala). Hidraulička preša, na kojoj je rađen eksperimentalni dio zadatka, upravljana je servo ventilom.

Programabilni logički kontroler (PLC) vrlo je pogodan za rješavanje različitih zadataka automatizacije procesa u industriji, zbog čega se često koristi. Najveće prednosti PLC uređaja su modularna građa, mogućnost programiranja, jednostavno održavanje, otpornost na nepovoljne utjecaje iz okoline i dr.

U ovom radu dan je opis hidrauličke preše kao i njezinih sastavnih dijelova. Također je detaljno opisan sustav za upravljanje hidrauličkom prešom kojeg čine PLC uređaj sa pripadajućim modulima proizvođača *Beckhoff*, kao i industrijsko računalo istog proizvođača. Prikazane su osnove rada u programskom paketu *TwinCAT* koji služi za konfiguraciju i izradu programa za *Beckhoff* PLC uređaj. Na kraju rada prikazan je program koji se koristi za upravljanje prešom, kao i dobiveni rezultati eksperimenta.

1 UVOD

Hidrauličke preše su danas vrlo često korišteni alatni strojevi u industriji. Suvremene hidrauličke preše posjeduju sve više elektroničkih i mikroprocesorski upravljanih komponenti, što im uz prednosti klasične hidraulike daje i odlična svojstva elektronike. Takve sustave koji se sastoje od elektroničkih i hidrauličkih elemenata integriranih u cjelinu nazivamo elektrohidraulički servosustavi. Elektrohidraulički servosustavi puno su bolji u odnosu na klasičnu hidrauliku kada je riječ o upravljanju sustava jer su upravljački signali električni, što je pogodno za prijenos, spremanje, pretvorbu i obradu, dok je sa hidrauličkim upravljačkim signalima sasvim suprotno. Kada uspoređujemo električne i hidrauličke aktuatore jednakih snaga, možemo vidjeti da su hidrauličke komponente znatno manje, što elektrohidrauličke servosustave čini idealnima za primjenu u procesima gdje se traže velike snage, a ujedno i velika preciznost pozicioniranja, kao i brzina.

Elektrohidraulički servosustavi su servomehanizmi koji omogućuju da se velikim inercijskim teretima upravlja uz visoku točnost upravljanja, veliku brzinu odziva i velika pojačanja snage. Pod teretom podrazumijeva se objekt upravljanja koji troši snagu. Ovakvom upravljanju najviše je doprinio razvoj elektronike, odnosno razvoj elektrohidrauličkih razvodnika koji su ujedno i osnovne komponente elektrohidrauličkih servosustava. Elektrohidraulički razvodnici za regulaciju mogu se klasificirati na servo ventile i proporcionalne ventile. Prvo je uslijedio razvoj servo ventila i to na području zrakoplovstva. Elektrohidraulički servo ventili su razvijeni da bi se električnim signalom male vrijednosti moglo točno upravljati velikim reakcijskim silama na krilima letećih objekata. S vremenom se i industrija počela razvijati i primjenjivati ovu vrlo skupu tehniku, te je došlo do razvoja proporcionalnih ventila. Za proporcionalne ventile se kaže da popunjavaju prazninu između klasične hidraulike i servohidraulike. Proporcionalni ventili objedinjuju prednosti hidraulike s prednostima koje daje elektronika. Servo ventili za povezivanje električnog i hidrauličkog dijela sustava koriste elektromehanički pretvarač, dok proporcionalni ventili koriste proporcionalne magnete.

Kako bi upravljali servo ventilima potrebno je koristiti mikroprocesorske sustave. Programabilni logički kontroler (PLC) vrlo je pogodan za rješavanje različitih zadataka automatizacije procesa u industriji, zbog čega se često koristi. Najveće prednosti PLC uređaja su modularna građa, mogućnost programiranja, jednostavno održavanje, otpornost na nepovoljne utjecaje iz okoline i dr. PLC se najviše koristi kao osnovni dio upravljačkih

automatskih sustava u industriji. Njegov program, tj. algoritam upravljanja se može jednostavno mijenjati te je pogodan za brza rješenja i aplikacije. Dio je mnogobrojnih strojeva i procesa u industriji. Projektiran je za teške uvjete rada, otporan na vibracije, temperaturne promjene i električne smetnje i šumove.

2 HIDRAULIČKA PREŠA

Sustav koji se razmatra u ovome radu je hidraulička preša upravljana servo ventilom. Svaki regulacijski sustav sastoji se od četiri osnovna elementa: regulacijskog člana, mjernog člana, izvršnog člana i objekta upravljanja. U ovom slučaju regulacijski član je industrijski PLC proizvođača *Beckhoff*, mjerni član je senzor sile, izvršni element je servo ventil, a objekt upravljanja je hidraulički cilindar.

2.1 Elektrohidraulički servosustavi općenito

Elektrohidraulički sustavi općenito služe za upravljanje procesa u kojima su nam potrebne velike sile, a ujedno i velika točnost pozicioniranja i velika brzina odziva.

Elektrohidrauličke sustave možemo podijeliti na:

- sustave s on-off elektromagnetima,
- sustave s proporcionalnim elektromagnetima,
- elektrohidrauličke servosustave.

U ovome radu za regulaciju pozicije korišteni su **elektrohidraulički servosustavi**.

Elektrohidrauličke servosustave možemo podijeliti na dva osnovna dijela:

- upravljački (elektronički - informacijski),
- izvršni (energetski - hidraulički).

Elektronički dio elektrohidrauličkih servosustava koristi se za slijedno upravljanje hidrauličkim dijelom sustava, a hidraulički dio omogućuje pretvorbu hidrauličke energije u mehaničku energiju. Izvršne elemente (aktuatori) elektrohidrauličkog servosustava moguće je klasificirati prema vrsti ostvarenog gibanja. Hidraulički aktuatori za ostvarivanje rotacijskog gibanja su hidraulički motori, a za dobivanje translacijskog gibanja koriste se hidraulički cilindri, zbog čega ih se naziva i linearnim motorima. Zbog svoje primitivne konstrukcije i jednostavnog ostvarivanja translacijskog gibanja, hidraulički cilindri postaju standardne komponente mnogih strojeva i uređaja. Primjerice, hidraulički cilindri uslijed velikog omjera

snage i mase postaju neizostavni dijelovi uređaja za ispitivanje mehaničkih svojstava materijala.

Upravljanje hidrauličkim aktuatorima klasificira se na dvije temeljne izvedbe:

- hidraulički aktuator upravljan servo razvodnikom,
- hidraulički aktuator upravljan servo crpkom.

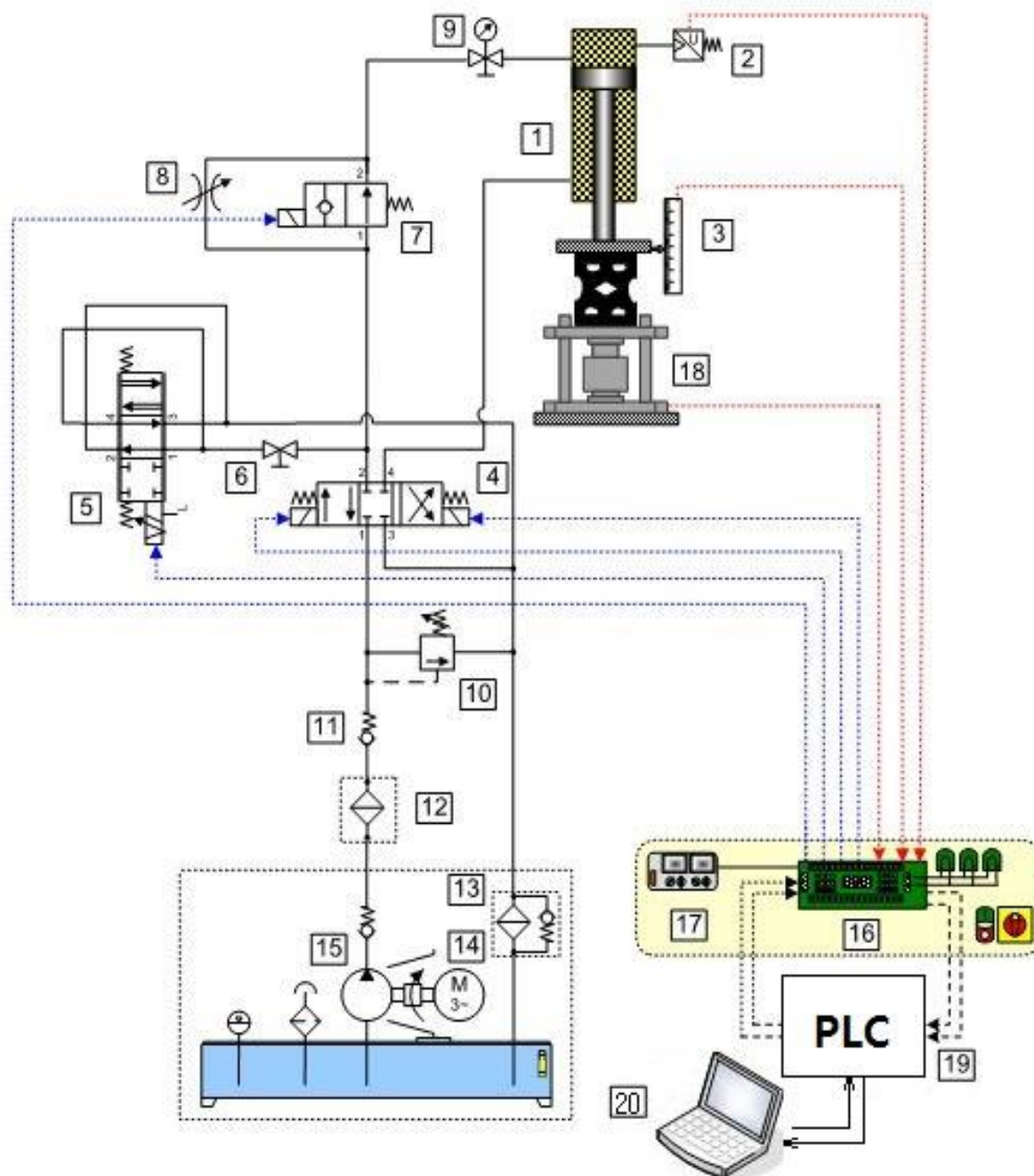
2.2 Opis laboratorijske opreme

U ovom poglavlju dan je opis laboratorijske opreme i objašnjen je princip rada hidrauličke preše i pojedinih elemenata. U industriji se hidrauličke preše koriste za različite postupke kao što su prešanje, štancanje, ekstrudiranje, oblikovanje itd. Na laboratorijskom modelu kao radni komad za prešanje koristi se guma. Eksperimentalni sustav proizvod je tvrtke „HI-KON“, a prikazan je na *Slici 2.1*.



Slika 2.1 Fotografija eksperimentalnog sustava

Sustav se sastoji od okomito postavljenog hidrauličkog cilindra (objekt regulacije) koji pritišće radni komad za prešanje. Cilindar je upravlján tlačnim servo ventilom (izvršni element) koji na temelju ulaznog signala smanjuje tlak u vodovima i cilindru tako da propušta ulje u spremnik. U sustavu se nalazi elektromagnetski razvodnik preko kojeg se upravlja smjerom gibanja cilindra, prema gore ili dolje i još jedan dvopoložajni elektromehanički ventil kojim možemo uključiti ili isključiti prigušnicu. Sustav također sadrži tri senzora (mjerni članovi) a to su: senzor sile koji mjeri silu pritiska cilindra na komad za prešanje, senzor tlaka koji mjeri tlak u radnoj komori cilindra i senzor pomaka koji mjeri pomak klipnjače. Hidraulička preša upravljana je industrijskim PLC uređajem proizvođača *Beckhoff* (regulacijski član), a željene vrijednost sile mogu se unijeti pomoću industrijskog računala koje ima ekran osjetljiv na dodir, također proizvođača *Beckhoff*. U nastavku je dan detaljniji opis pojedinih elemenata eksperimentalne opreme, a na *Slici 2.2* je prikazana shema elektrohidrauličkog servosustava.



Slika 2.2 Shema elektrohidrauličkog servosustava

1 - Cilindar, 2 - Senzor tlaka, 3 - Senzor pomaka, 4 - 4/3 Elektromagnetski ventil, 5 - Servo ventil, 6 - Kuglasta slavina, 7 - 2/2 Razvodni ventil, 8 - Prigušni ventil, 9 - Manometar, 10 - Ventil za ograničenje tlaka, 11 - Nepovratni ventil, 12 - Tlačni filter, 13 - Povratni filter, 14 - Trofazni elektromotor, 15 - Zupčasta crpka, 16 - Elektroničko sučelje, 17 - Strujni ispravljač, 18 - Senzor sile, 19 - PLC uređaj, 20 - Industrijsko računalo.

Hidraulički cilindar

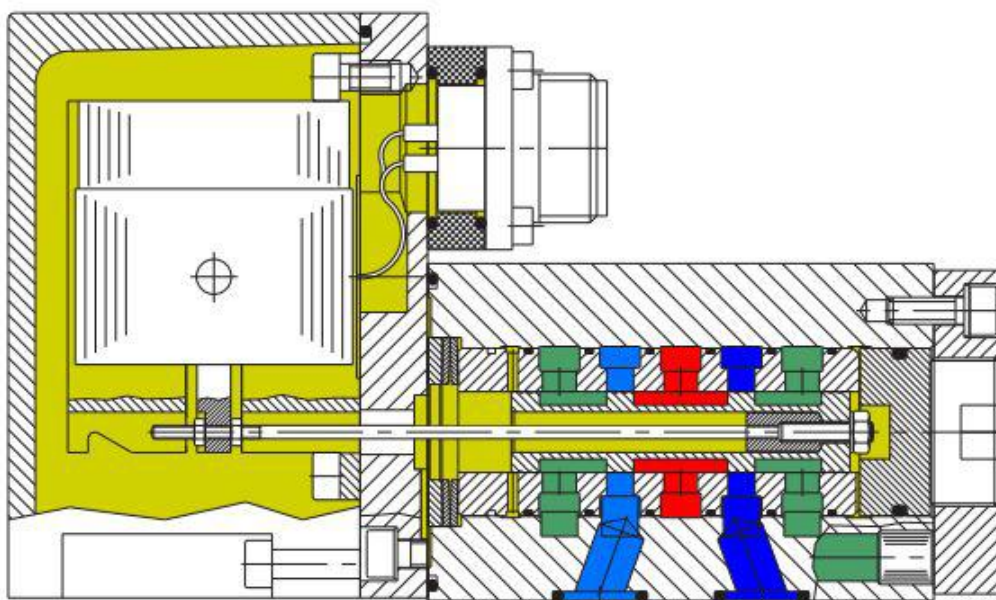
Hidraulički cilindar je izvršni element sustava, odnosno aktuator. Koristi se za postizanje linearnog gibanja, radi čega se često naziva linearni motor. Hidraulički cilindri vrlo su primitivne konstrukcije i jednostavno ostvaruju linearno gibanje, pa se radi toga vrlo često koriste. Na eksperimentalnom sustavu koristi se dvoradni hidraulički cilindar, klip je izrađen od čelične cijevi, a klipnjača je tvrdo kromirana.

Karakteristike:

- Promjer cilindra, $D = 80 \text{ mm}$
- Promjer klipnjače: $D_v = 60 \text{ mm}$
- Hod cilindra, $l = 300 \text{ mm}$.

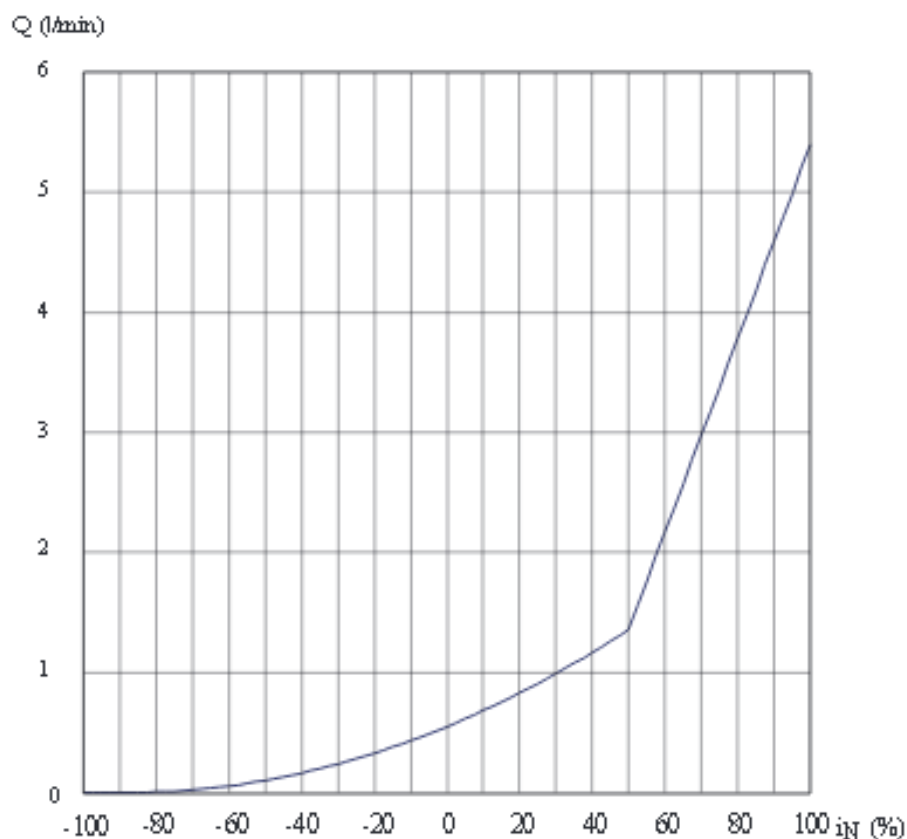
Servo ventil

U ovom eksperimentalnom sustavu koristi se elektrohidraulički servo ventil tlačnog tipa, proizvođača „SCHNEIDER“ oznake: HVM 025-005-1200-0. Na temelju ulaznog signala od $\pm 10 \text{ V}$ servo ventil smanjuje tlak u vodovima i cilindru tako da propušta ulje u spremnik.



Slika 2.3 Servo ventil proizvođača „SCHNEIDER“

Ovaj ventil radi na način da za veći ulazni napon daje veći protok fluida u spremnik, što znači manji tlak u radnoj komori cilindra. Ovakva karakteristika dosta je nezgodna za regulaciju pa je iz tog razloga okrenut polaritet na ventilu, odnosno podešeno je da ventil za veće vrijednosti napona daje manji protok prema spremniku, odnosno povećava tlak u radnoj komori cilindra. Na *Slici 2.4* prikazana je karakteristika servo ventila proizvođača „Schneider“.



Slika 2.4 Ovisnost protoka kroz ventil o ulaznom signalu

Karakteristike:

- Maksimalni tlak: 500 bar
- Protok: 0,5 - 5 l/min
- Rezolucija: 0,1 bar
- Upravljački napon: ± 10 V.

Elektrohidraulički servo ventil se spaja na pojačalo signala BOE 025. Izlazni signal koji se dobije iz PLC uređaja spaja se na pojačalo, te se s pojačanim signalom upravlja servo ventilom.

Karakteristike pojačala:

- Ulazni signal: ± 10 V
- Napajanje: +24 V DC
- Izlazni signal: ± 200 do ± 1000 mA

Hidraulička crpka

Hidraulička crpka je uređaj koji mehaničku energiju pretvara u hidrauličku energiju (tlačnu energiju) radne tekućine. U eksperimentalnom sustavu koristi se zupčasta crpka konstantne dobave proizvođača „VIVOIL“, oznake: XV-1P 2.7. Zupčasti par obnaša funkciju tlačnog mehanizma, stvarajući protok kojemu je suprotstavljen hidraulički otpor sustava. Kako ne bi došlo do previsokog tlaka u sustavu, nakon crpke ili integrirano u kućištu crpke ugrađuje se ventil za ograničenje tlaka kao sigurnosni ventil, na kojem se namješta maksimalni tlak za koji je crpka prikladna. Crpka proizvođača „VIVOIL“ prikazana je na *Slici 2.5*.



Slika 2.5. Crpka proizvođača „VIVOIL“

Karakteristike:

- Broj okretaja: 980 o/min
- Protok: 3,7 l/min
- Tlak: 250 bar.

Elektromotor

Pogon hidrauličkog sustava odnosno pokretanje crpke ostvaruje se električnim motorima. U eksperimentalnom sustavu za pogon crpke koristi se trofazni kavezni asinkroni elektromotor proizvođača „KONČAR-MES“, oznake: 5AZ 112M-6.

Karakteristike:

- Snaga: 2,2 kW
- Broj faza: 3
- Broj okretaja: 980 o/min
- Frekvencija: 50 Hz
- Masa: 29 kg.



Slika 2.6 Elektromotor proizvođača „KONČAR-MES“

Senzor sile

Senzor sile postavljen je na stol hidrauličke preše, ispod radnog komada za prešanje. Koristi se za pretvaranje sile pritiska u napon, odnosno pretvaranje neelektrične veličine u lako mjerljivu električnu veličinu. U senzorima sile nalaze se silikonski piezootpornici čiji se otpor povećava kada se savijaju pod djelovanjem neke sile. Senzor usmjerava silu kroz čelični klip, direktno na silikonski osjetljivi element. Količina otpora se mijenja razmjerno s iznosom sile, a isto tako se mijenja i napon na izlazu senzora. Promjene napona na izlazu iz senzora su u razini mV, pa se senzor sile koristi u kombinaciji sa odgovarajućim pojačalom. U eksperimentalnom sustavu koristi se senzor proizvođača „SIEMENS“, oznake: SIWAREX WL270 CP-S SA.

Karakteristike:

- Napajanje: 5-12 V DC
- Maksimalno opterećenje: 10 tona.



Slika 2.7. Senzor sile proizvođača „Siemens“

Senzor sile spaja se na pojačalo signala RM4220.

Karakteristike pojačala:

- Izlazni signali: 0-10 V, ± 10 V, 4...20mA
- Napajanje: 24 ± 8 V.

Senzor tlaka

Senzor tlaka postavljen je u komori cilindra. Unutar senzora nalazi se elastični element koji pod djelovanjem sile trpi deformaciju, a ta deformacija uzrokuje promjenu napona, odnosno izlaznog signala. Uređaj za normalizaciju izlaznog električnog signala daje standardni naponski ili strujni signal pogodan za prijenos. Za potrebe ovog eksperimentalnog sustava koristi se senzor tlaka proizvođača „Siemens“, oznake: SITRANS 7MF1564 (*Slika 2.8*).

Karakteristike:

- Mjerno područje: 0 - 250 bar
- Maksimalni tlak: 500 bar
- Izlazni signal: 0 - 10 V
- Napajanje: 15 - 36 V.



Slika 2.8 Senzor tlaka proizvođača „Siemens“

Senzor pomaka

Senzor pomaka sastoji se od cjevastog valovoda, zaštićenog aluminijskim kućištem, te permanentnog magneta koji je smješten na pokretni dio cilindra. Magnet pozicioniranja definira poziciju koja se mjeri na valovodu. Eksterno generirani INIT impulsi, koji putuju kroz valovod, u suradnji sa magnetskim poljem magneta stvaraju uvrnuti val u valovodu koji se prenosi ultrazvučnom brzinom. Komponente uvrnutog vala dolaze do kraja valovoda i apsorbiraju se tehnikom prigušenja. Stvara se električni signal koji odgovara vremenu putovanja uvrnutog vala. Ovaj proces se odvija uz visoku preciznost i ponovljivost. Za potrebe ovog eksperimentalnog sustava koristi se senzor pomaka proizvođača „Balluff“, tipa: BTL5-A11-M0300-P-S32 (*Slika 2.9*).

Karakteristike:

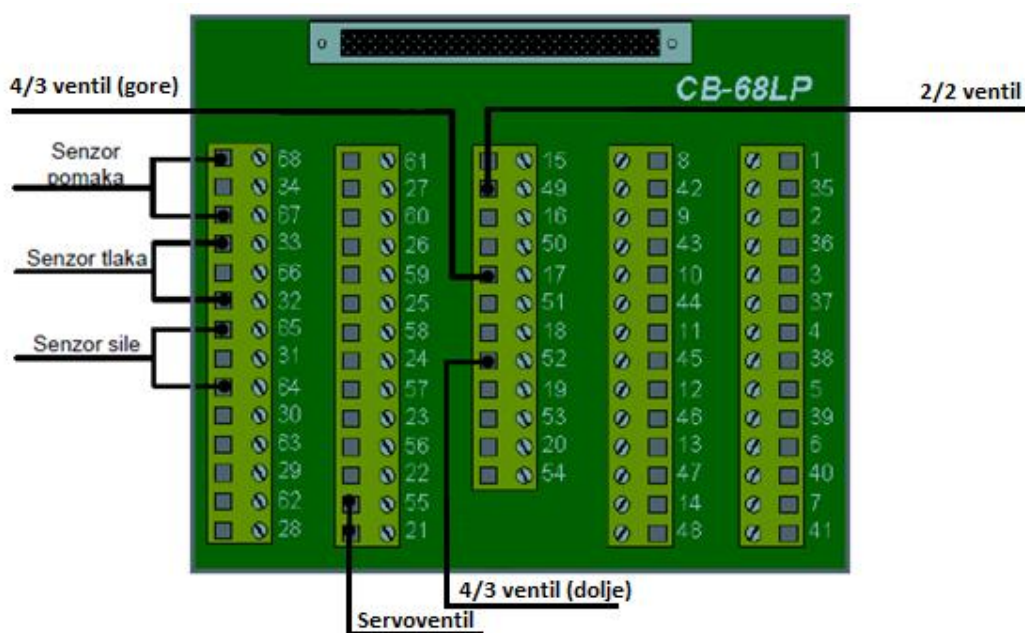
- Razlučivost: 2 μm
- Raspon izlaznog signala: 0 - 10 V
- Raspon: 300 mm.



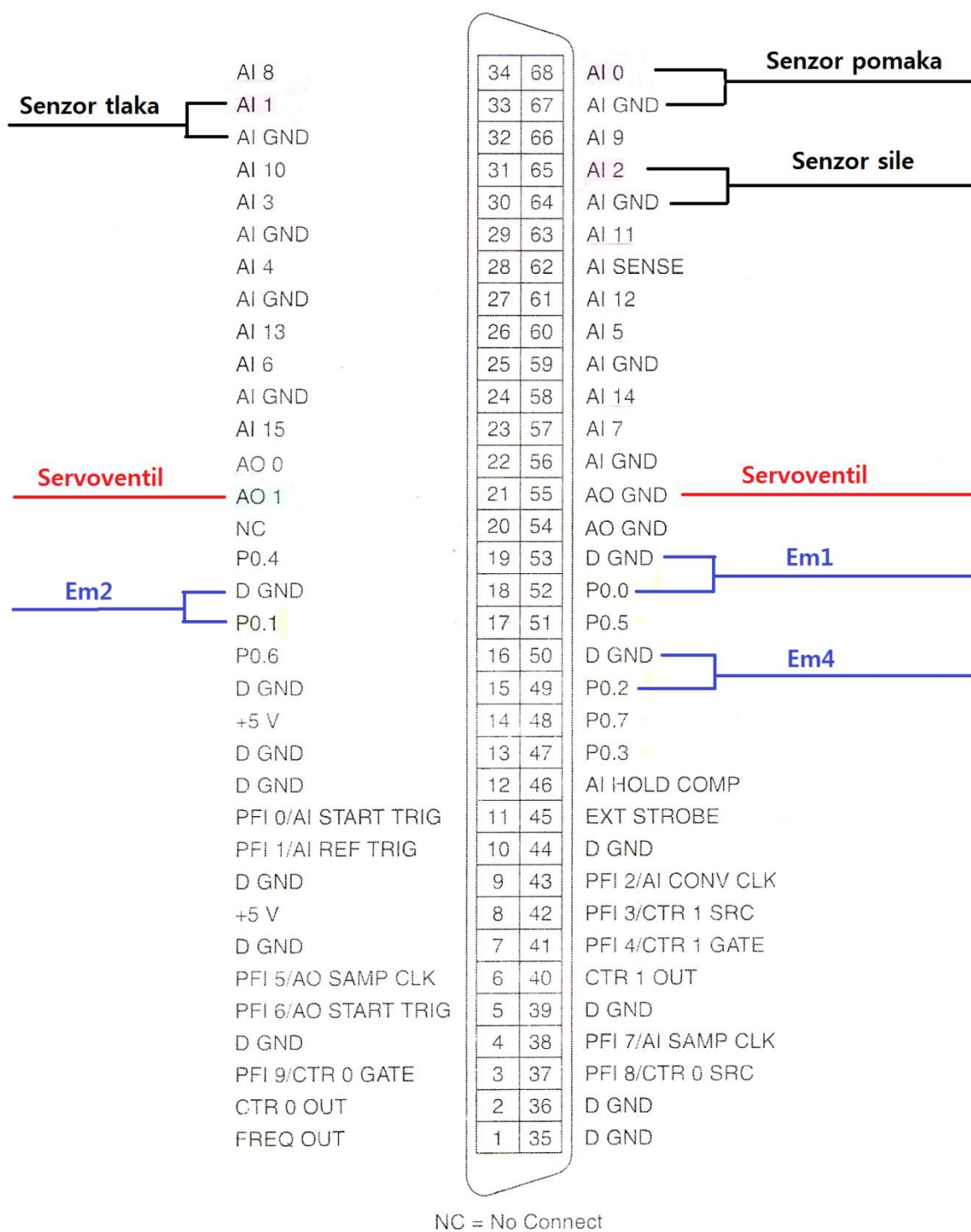
Slika 2.9 Senzor pomaka proizvođača „Balluff“

Neoklopljeni 68-pinski I/O priključni blok

I/O priključni blok koristi se za povezivanje I/O modula industrijskog PLC uređaja sa elementima hidrauličke preše (ventili i senzori). Za potrebe ovog eksperimentalnog sustava koriste se dva 68-pinska I/O priključna bloka proizvođača „National Instruments“, jedan na strani PLC uređaja, a drugi na strani hidrauličke preše.



Slika 2.10 I/O priključni blok proizvođača „National Instruments“



Slika 2.11 Raspored pinova na konektoru

3 INDUSTRIJSKI PLC UREĐAJ

PLC (eng. *Programmable Logic Controller*) je programabilni logički kontroler, tj. industrijsko računalo koje se sastoji od memorije, procesora, industrijskih ulaza i izlaza. Ulazi mogu biti tipkala i sklopke, ili razne vrste pretvornika ili senzora.

PLC se najviše koristi kao osnovni dio upravljačkih automatskih sustava u industriji. Njegov program, odnosno algoritam, se može jednostavno mijenjati te je pogodan za brza rješenja i aplikacije. Dio je mnogobrojnih strojeva i procesa u industriji.

PLC je digitalno računalo, njegov program se izvršava ciklično i sastoji se od pet faza:

- čitanje ulaznih varijabli,
- upisivanje stanja ulaznih varijabli u ulaznu memoriju,
- izvršavanje programa,
- ispisivanje stanja izlaznih varijabli u izlaznu memoriju,
- ispisivanje stanja izlaznih varijabli na izlaze.

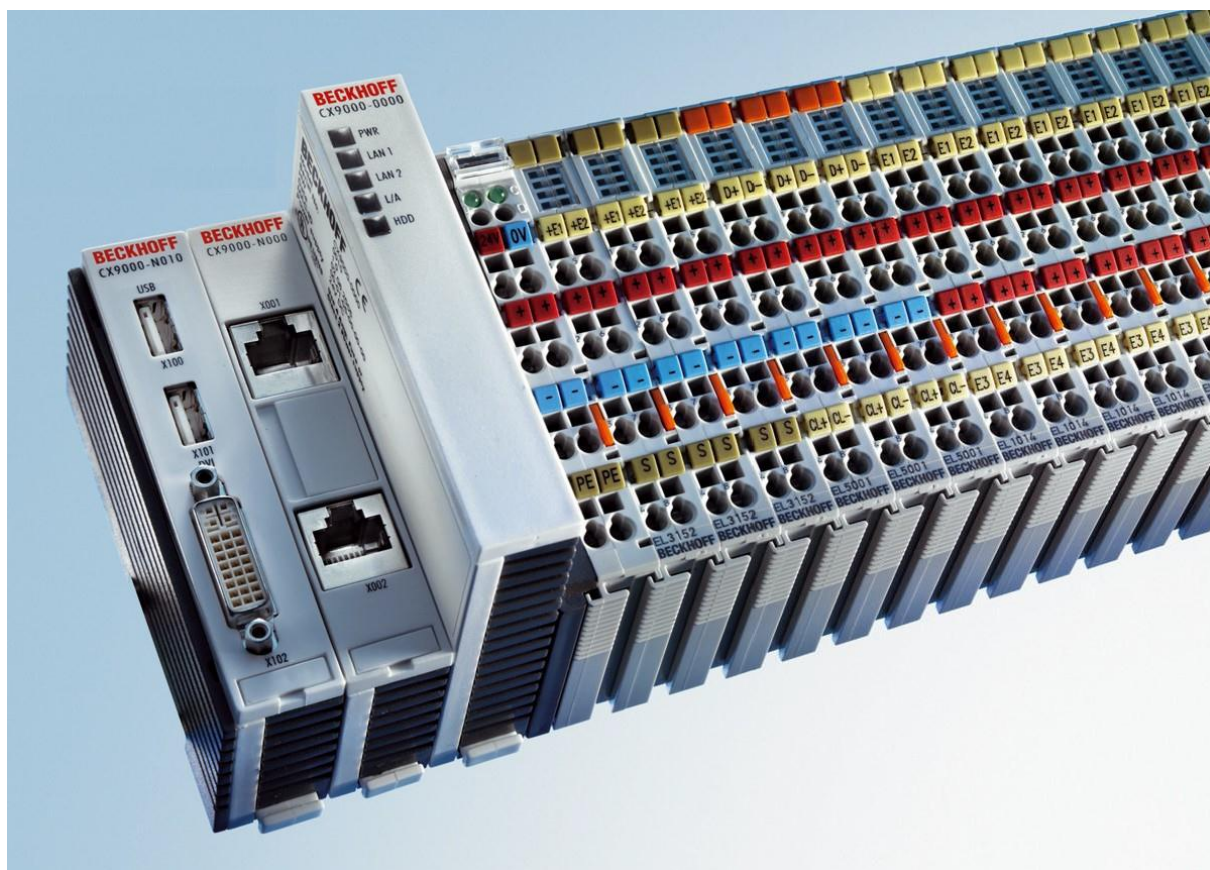
Program se pamti u unutrašnjoj memoriji uređaja i kad on ostane bez napajanja. Projektiran je za teške uvjete rada, otporan na vibracije, temperaturne promjene i električne smetnje.

Danas se u industriji najčešće koriste *Siemens* PLC uređaji radi višegodišnjeg iskustva i kvalitete, ali *Beckhoff* kao i još par proizvođača kvalitetom uspješno konkuriraju *Siemens*-u i nalaze svoje mjesto u industriji. U ovom radu korišten je PLC uređaj proizvođača *Beckhoff*, sa pripadajućim modulima.

3.1 Karakteristike PLC uređaja proizvođača *Beckhoff*

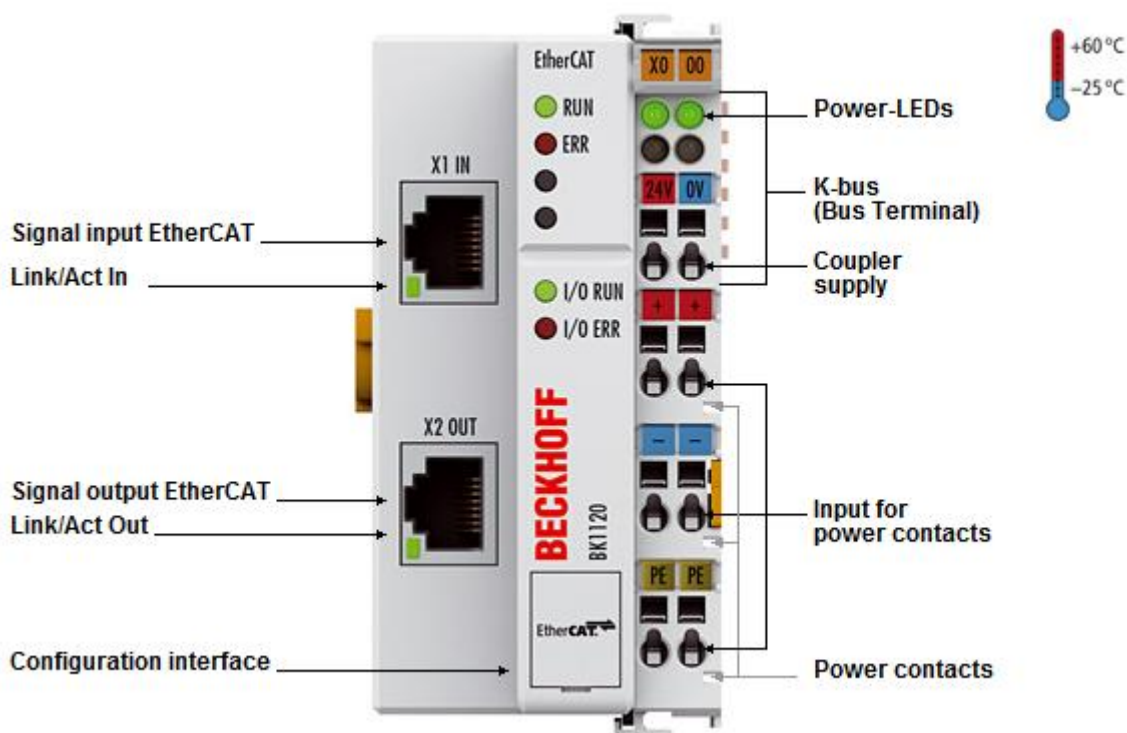
Beckhoff PLC uređaj građen je od procesorske jedinice na koju se vežu (redno dodaju) modulne kartice raznih namjena. Procesorska jedinica je osnovni element svakog Beckhoff PLC-a, služi kao računalo sa procesorom i memorijom koje se brine za povezivanje modula i osnovne operacije. Kako bi PLC mogao slati ili primati signale, procesorska jedinica nadograđuje se odgovarajućim modulima. Postoje razne vrste modula, ovisno o signalima koji se koriste u sustavu (digitalni ili analogni).

U ovome poglavlju biti će prikazane karakteristike Beckhoff PLC uređaja korištenog u eksperimentalnom ispitivanju, kao i pripadajućih modula.



Slika 3.1 PLC uređaj proizvođača *Beckhoff*

3.1.1 Procesorska jedinica BK1120



Slika 3.2 Procesorska jedinica Beckhoff BK1120

Procesor BK1120 osnova je *Beckhoff* PLC uređaja i ona povezuje *Ethernet* sustav (*EtherCAT*) u realnom vremenu sa modulnim proširenjima odnosno elektroničkim karticama različitih namjena.

Izbor procesorske jedinice ovisi o kompleksnosti programa i sustava na kojemu će se PLC primjenjivati. Na procesorsku jedinicu BK1120 moguće je dodati maksimalno 64 modulne kartice. Procesorska jedinica prepoznaje priključene modulne kartice te automatski kreira procesnu konfiguraciju PLC uređaja u *EtherCAT* sistemu.

Tehničke karakteristike:

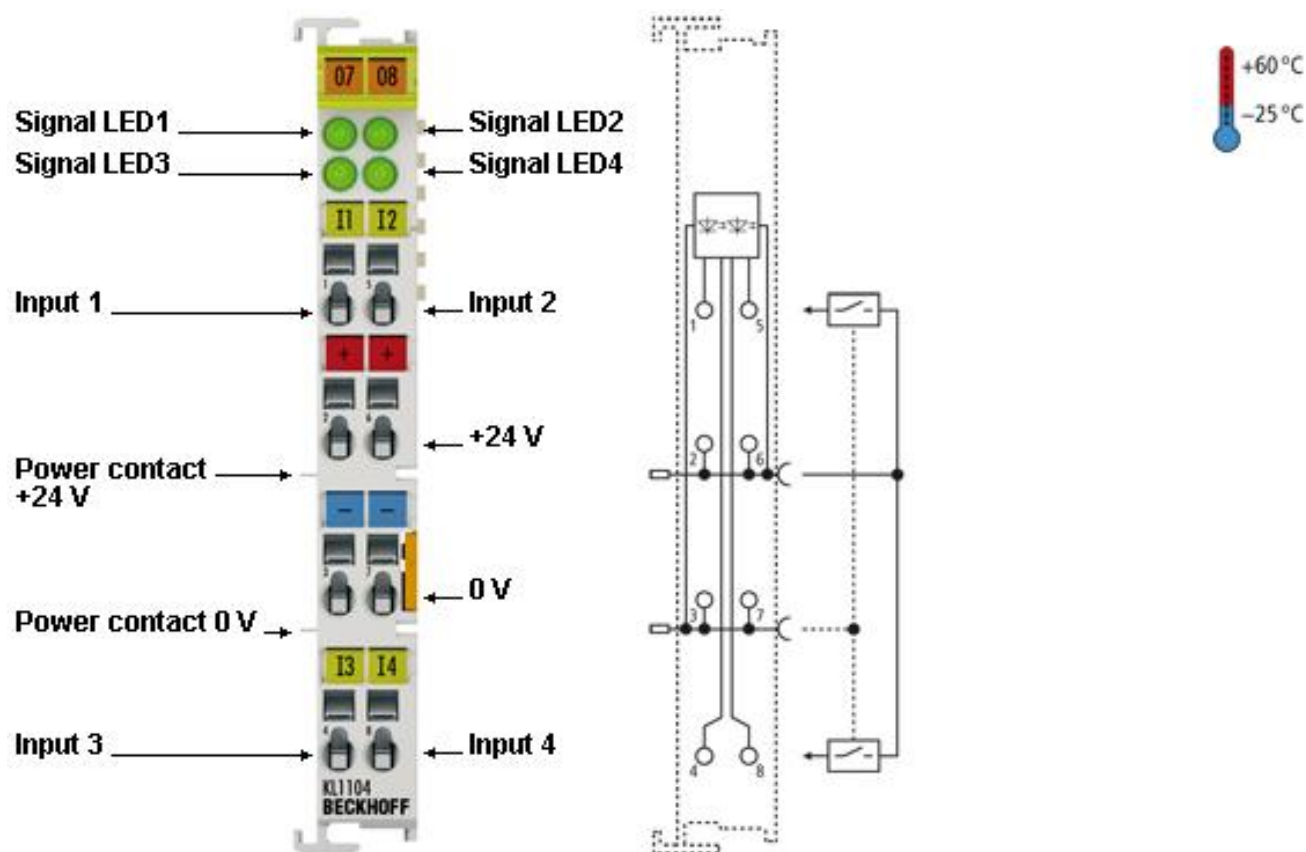
System data	EtherCAT BK1120
Number of I/O stations	65,535
Number of I/O points	depending on controller
Data transfer medium	Ethernet/EtherCAT CAT5 cable
Max. cable length	100 m (100BASE-TX)
Data transfer rates	100 Mbaud
Data transfer time	0.01 ms in the case of 10 modules for 32 bit inputs and outputs each (without K-bus run-time)

Technical data	BK1120
Number of Bus Terminals	64 (255 with K-bus extension)
Max. number of bytes fieldbus	1,024 byte input and 1,024 byte output
Configuration possibility	via KS2000 or EtherCAT (ADS)
Bus interface	2 x RJ 45
Power supply	24 V DC (-15 %/+20 %)
Input current	70 mA + (total K-bus current) /4, 500 mA max.
Starting current	approx. 2.5 x continuous current
Recommended fuse	≤ 10 A
Current supply K-bus	1,750 mA
Power contacts	24 V DC max./10 A max.
Electrical isolation	500 V (power contact/supply voltage/Ethernet)
Distance between stations	100 m (100BASE-TX)
Weight	approx. 150 g
Operating/storage temperature	-25...+60 °C/-40...+85 °C
Relative humidity	95 %, no condensation
Vibration/shock resistance	conforms to EN 60068-2-6/EN 60068-2-27
EMC immunity/emission	conforms to EN 61000-6-2/EN 61000-6-4
Protect. class/installation pos.	IP 20/variable
Approvals	CE, UL, Ex

Slika 3.3 Tehničke karakteristike *Beckhoff* BK1120

3.1.2 Modulne kartice

Digitalni ulaz Beckhoff KL1104



Slika 3.4 Digitalni ulaz KL1104

Ova kartica služi za primanje binarnih upravljačkih signala (24V) iz procesa i dovodi ih galvaniski razdvojene (sigurne za uređaj) u proces automatizacije, gdje slijedi njihova daljnja obrada. Na PLC uređaju koji se koristi u laboratorijskom ispitivanju nalaze se dvije ovakve kartice, ali se ni jedna ne koristi jer su svi signali koji se uzimaju iz procesa analogni.

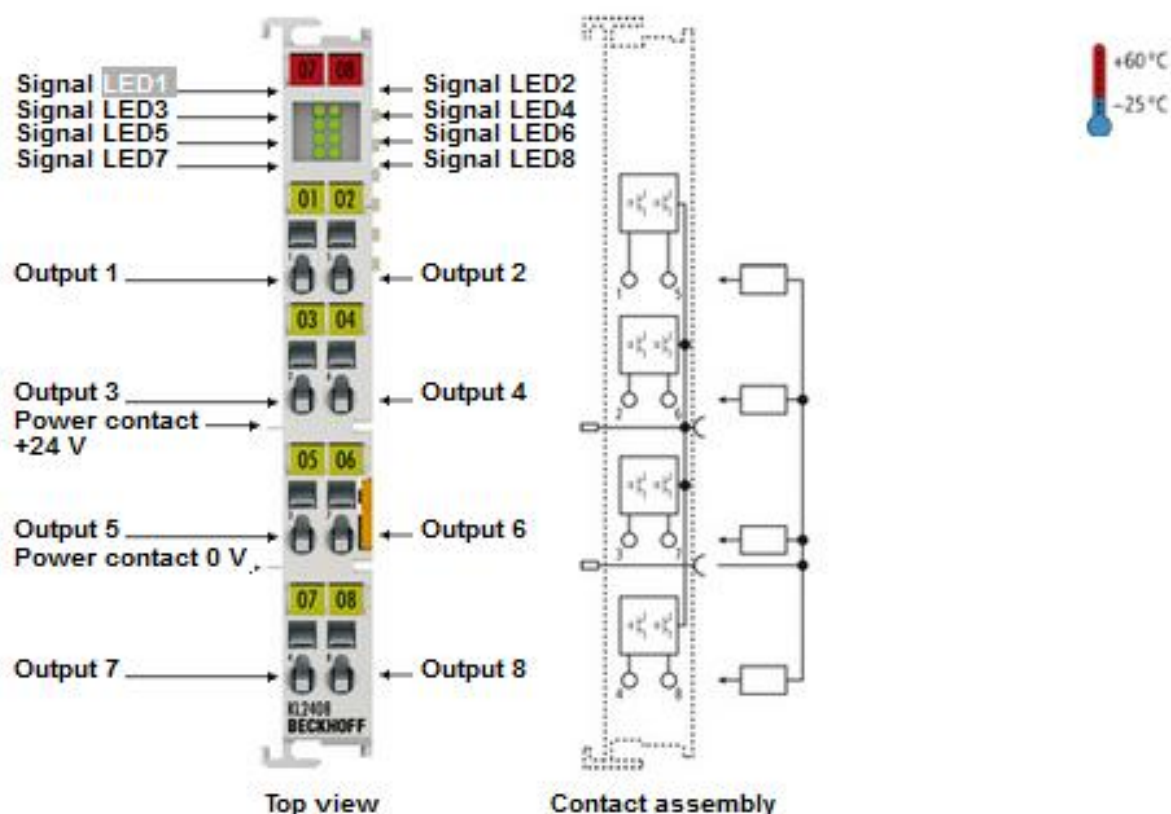
Tehničke karakteristike:

Technical data	KL1104 KS1104	KL1114 KS1114
Connection technology	2-B-wire	
Number of inputs	4	
Nominal voltage	24 V DC (-15 %/+20 %)	
"0" signal voltage	-3...+5 V	
"1" signal voltage	15...30 V	
Input filter	typ. 3.0 ms	typ. 0.2 ms
Input current	typ. 5 mA	
Current consumpt. K-bus	typ. 5 mA	
Electrical isolation	500 V (K-bus/field potential)	
Bit width in the process image	4 inputs	
Configuration	no address or configuration setting	
Weight	approx. 55 g	
Operating/storage temperature	-25...+60 °C/-40...+85 °C	
Relative humidity	95 %, no condensation	
Vibration/shock resistance	conforms to EN 60068-2-6/EN 60068-2-27	
EMC immunity/emission	conforms to EN 61000-6-2/EN 61000-6-4	
Protect. class/installation pos.	IP 20/variable	
Pluggable wiring	for all KSxxx Bus Terminals	
Approvals	CE, UL, Ex, GL	

Slika 3.5 Tehničke karakteristike kartice KL1104

Digitalni izlaz Beckhoff KL2408

Ova kartica distribuira binarne upravljačke signale (24V) dobivene izvođenjem programa u PLC-u na temelju ulaznih varijabli. Sadrži 8 digitalnih izlaza, odnosno kanala koji su električno izolirani, zaštićeni od kratkog spoja, krivog spajanja polova i preopterećenja. Ova kartica se koristi za aktiviranje 4/3 elektromagnetskog ventila (oznaka 4 na *Slici 2.2*), te 2/2 razvodnog ventila (oznaka 7 na *Slici 2.2*).



Slika 3.6 Digitalni izlaz KL2408

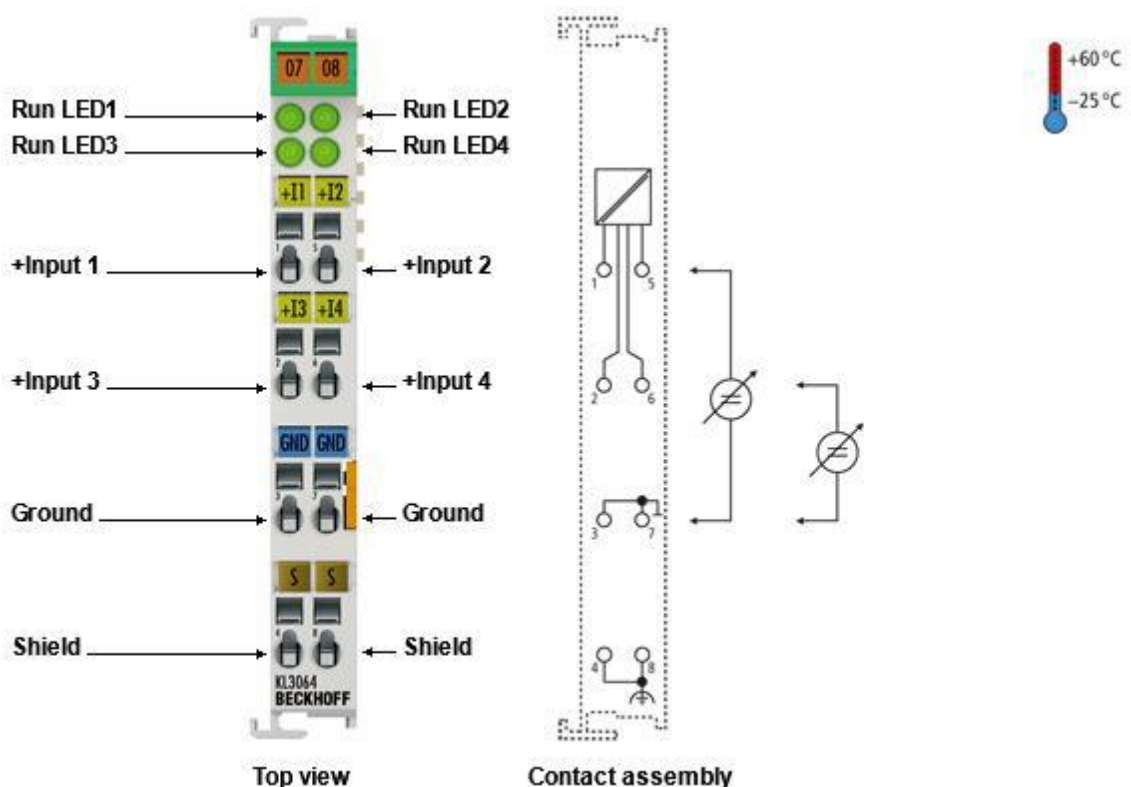
Tehničke karakteristike:

Technical data	KL2408 KS2408
Connection technology	1-wire
Number of outputs	8
Rated load voltage	24 V DC (-15 %/+20 %)
Load type	ohmic, inductive, lamp load
Max. output current	0.5 A (short-circuit-proof) per channel
Short circuit current	< 2 A
Breaking energy	< 150 mJ/channel
Reverse voltage protection	yes
Electrical isolation	500 V (K-bus/field potential)
Current consumption power contacts	typ. 60 mA + load
Current consumpt. K-bus	typ. 18 mA
Bit width in the process image	8 outputs
Configuration	no address or configuration setting
Weight	approx. 70 g
Operating/storage temperature	-25...+60 °C/-40...+85 °C
Relative humidity	95 %, no condensation
Vibration/shock resistance	conforms to EN 60068-2-6/EN 60068-2-27
EMC immunity/emission	conforms to EN 61000-6-2/EN 61000-6-4
Protect. class/installation pos.	IP 20/variable
Pluggable wiring	for all KSxxx Bus Terminals
Approvals	CE, UL, Ex, GL

Slika 3.7 Tehničke karakteristike kartice KL2408

Analogni ulaz Beckhoff KL3064

Ova kartica može obrađivati analogne signale u spektru napona od 0V do +10V. Napon se galvanski odvaja kao i kod digitalne kartice te se digitalizira u rezoluciji od 12 bita. Radi se o četverokanalnoj kartici, a za regulaciju hidrauličke preše iskorištena su tri kanala kako bi se očitale vrijednosti sa senzora sile, pomaka i tlaka.



Slika 3.8 Analogni ulaz Beckhoff KL3064

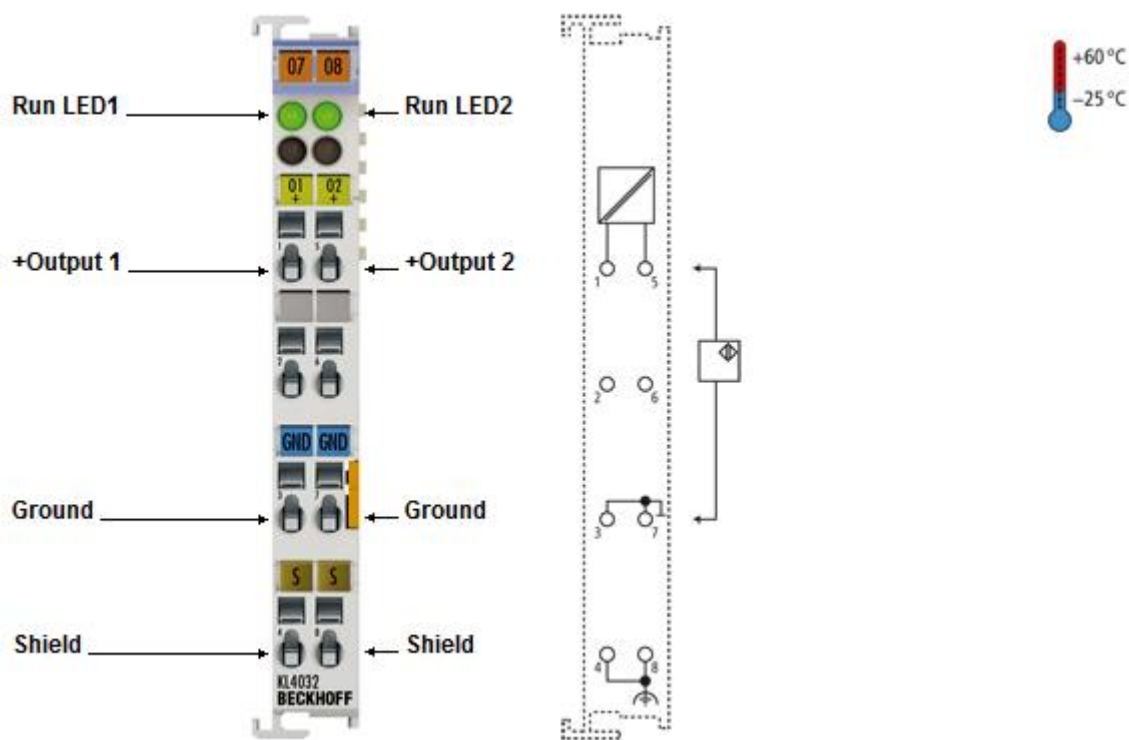
Tehničke karakteristike:

Technical data	KL3064 KS3064
Number of inputs	4
Power supply	via the K-bus
Signal voltage	0...10 V
Technology	single-ended
Internal resistance	> 130 kΩ
Common-mode voltage U_{cm}	–
Resolution	12 bits
Conversion time	~ 4 ms
Measuring error	< ±0.3 % (relative to full scale value)
Electrical isolation	500 V (K-bus/signal voltage)
Current consumption power contacts	– (no power contacts)
Current consumpt. K-bus	typ. 85 mA
Bit width in the process image	input: 4 x 16 bit data (4 x 8 bit control/status optional)
Configuration	no address or configuration setting
Weight	approx. 80 g
Operating/storage temperature	-25...+60 °C/-40...+85 °C
Relative humidity	95 %, no condensation
Vibration/shock resistance	conforms to EN 60068-2-6/EN 60068-2-27
EMC immunity/emission	conforms to EN 61000-6-2/EN 61000-6-4
Protect. class/installation pos.	IP 20/variable
Pluggable wiring	for all KSxxx Bus Terminals
Approvals	CE, UL, Ex, GL

Slika 3.9 Tehničke karakteristike kartice KL3064

Analogni izlaz Beckhoff KS4032

Analogna izlazna kartica ostvaruje izlazne signale u spektru napona od -10V do +10V. rezolucije 12 bita te ih distribuira dalje na izlaze odnosno na radni sustav. Radi se o dvokanalnoj kartici, a za regulaciju hidrauličke preše koristi se samo jedan kanal koji šalje signal na servo ventil koji je zadužen za upravljanje protokom fluida prema glavnom cilindru.



Slika 3.10 Analogni izlaz Beckhoff KS4032

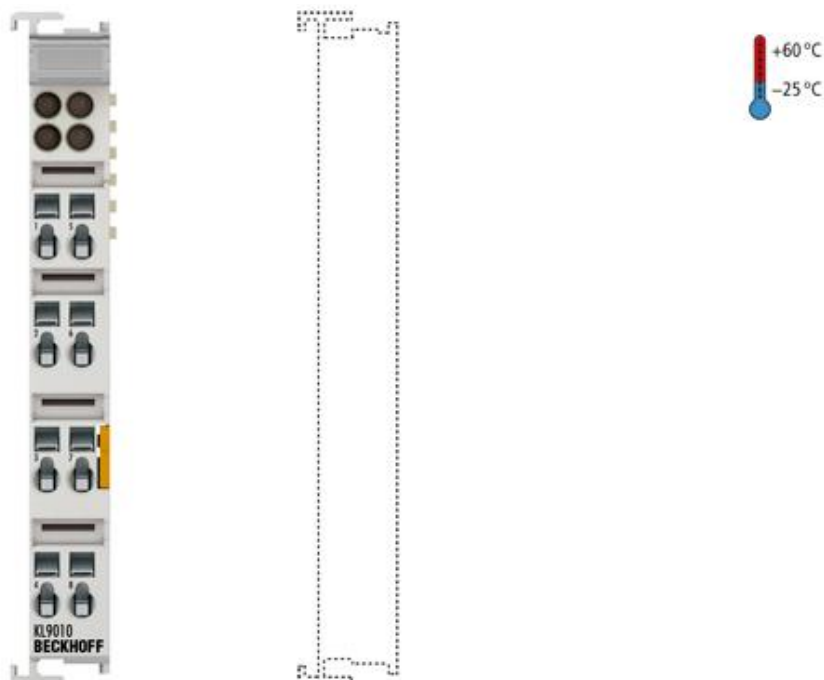
Tehničke karakteristike:

Technical data	KL4031 KS4031	KL4032 KS4032
Technology	–	single-ended
Number of outputs	1	2
Power supply	via the K-bus	
Signal voltage	-10...+10 V	
Load	> 5 k Ω (short-circuit-proof)	
Output error	< ± 0.1 % (relative to end value)	
Resolution	12 bits	
Conversion time	~ 1.5 ms	
Electrical isolation	500 V (K-bus/signal voltage)	
Current consumption power contacts	– (no power contacts)	
Current consumpt. K-bus	typ. 75 mA	
Bit width in the process image	output: 1 x 16 bit data (1 x 8 bit control/status optional)	output: 2 x 16 bit data (2 x 8 bit control/status optional)
Configuration	no address or configuration setting	
Special features	potential-free output	–
Weight	approx. 85 g	
Operating/storage temperature	0...+55 °C/-25...+85 °C	-25...+60 °C/-40...+85 °C
Relative humidity	95 %, no condensation	
Vibration/shock resistance	conforms to EN 60068-2-6/EN 60068-2-27	
EMC immunity/emission	conforms to EN 61000-6-2/EN 61000-6-4	
Protect. class/installation pos.	IP 20/variable	
Pluggable wiring	for all KSxxx Bus Terminals	
Approvals	CE, UL, Ex, GL	

Slika 3.11 Tehničke karakteristike kartice KS4032

Završna kartica Beckhoff KL9010

Modulna kartica KL9010 upotrebljava se kao završetak radne cjeline odnosno bloka, koji se sastoji od procesorske jedinice BK1120 i navedenih modulnih kartica.



Slika 3.12 Završna kartica KL9010

Tehničke karakteristike:

Special features	end terminal for bus communication
Weight	approx. 50 g
Side by side mounting on Bus Terminals with power contact	yes
Side by side mounting on Bus Terminals without power contact	yes
Operating/storage temperature	-25...+60 °C/-40...+85 °C
Approvals	CE, UL, Ex, GL

Slika 3.13 Tehničke karakteristike kartice KL9010

3.1.3 Industrijsko računalo proizvođača Beckhoff

Za vizualizaciju i zadavanje referentnih veličina u eksperimentalnom ispitivanju koristi se industrijsko računalo proizvođača *Beckhoff*, model: CP6219-0001-0020. (Slika 3.14)



Slika 3.14 Industrijsko računalo proizvođača Beckhoff

Računalo ima ekran osjetljiv na dodir, a sa PLC uređajem komunicira mrežnim kablom. Tokom izvođenja programa moguće je ispisivati vrijednosti ulaznih i izlaznih veličina na ekranu, iscrtavati grafove, kao i zadavati referentne vrijednosti za regulaciju sile. Pomoću ovog tipa računala moguće je vršiti i programiranje PLC uređaja, ali za to je na njega potrebno instalirati Windows XP. Za programiranje PLC uređaja prilikom izrade ovog zadatka korišteno je prijenosno računalo koje je na industrijsko računalo spojeno mrežnim kablom.

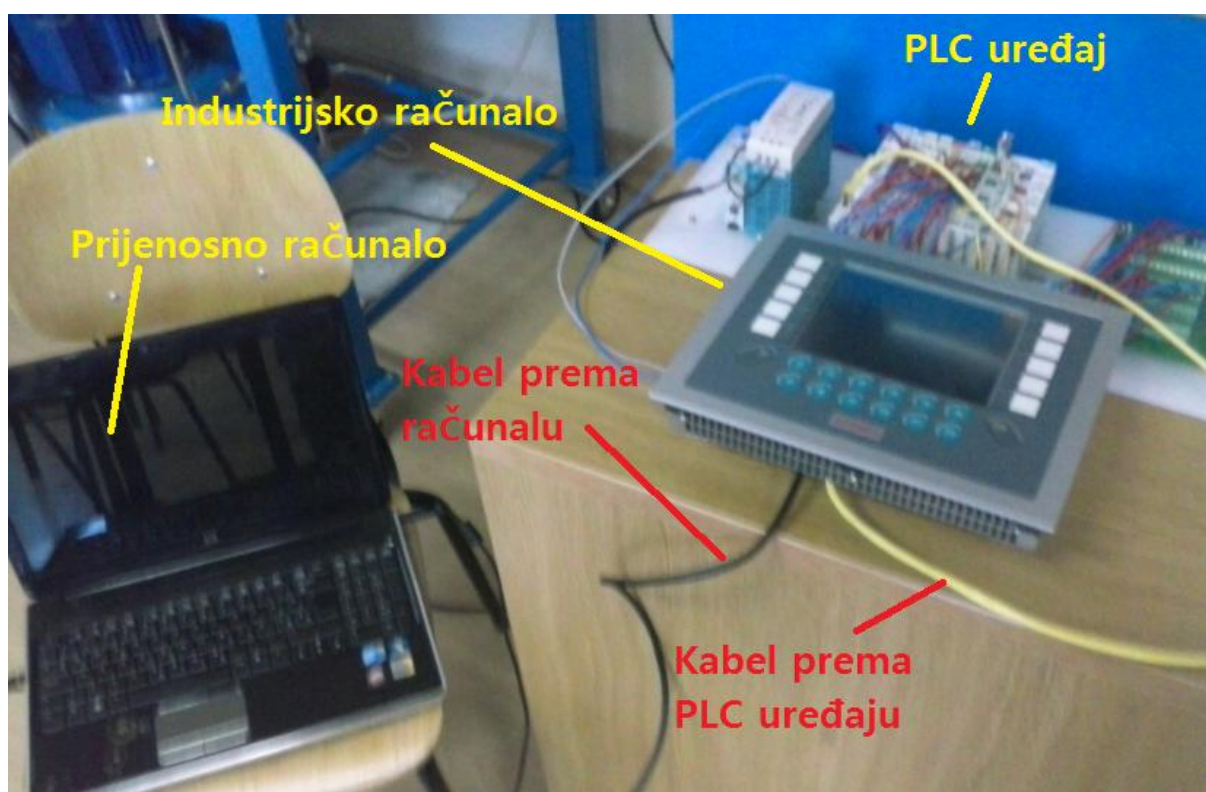
Karakteristike industrijskog računala:

CP62xx-xxxx-0020	"Economy" built-in Panel PC
Housing	aluminium front with steel sheet rear cover
	drives easily accessible
	all connectors at the bottom of the rear side
	1 slot for one 2½-inch hard disk or SSD and 1 slot for one Compact Flash card accessible from the rear side
	lithium battery of the system clock accessible from the rear side
	pull-out clamping levers for fast installation without loose parts
	protection class front side IP 65, rear side IP 20
	operating temperature 0...55 °C
Front panel	TFT display in five sizes
	– 5.7-inch display 640 x 480
	– 6.5-inch display 640 x 480
	– 12-inch display 800 x 600
	– 15-inch display 1024 x 768
	– 19-inch display 1280 x 1024
	front laminate in five variants
	– only display
Features	– function keys and 10 PLC special keys with LED
	– numeric keyboard and 10 PLC special keys with LED
	– alphanumeric PC keyboard in US layout and 10 PLC special keys with LED
	– alphanumeric PC keyboard in US layout and 16 PLC special keys with LED on the sides
	special keys identified by slide-in labels
	processor Intel® Atom™ Z510 1.1 GHz (TC3: 40)
	3½-inch motherboard for Intel® Atom™
	1 Mini PCI slot free for cards installed ex factory
	1 GB DDR2RAM, expandable to 2 GB
	on-board graphic adapter, Intel® GMA 500, DVI-D connector
	on-board dual Ethernet adapter with 2 x 10/100 /1000BASE-T connector
	128 MB Compact Flash card, extended temperature range
	4 USB 2.0 ports
	24 V DC power supply
	operating system Microsoft Windows CE 6, English

Slika 3.15 Karakteristike industrijskog računala proizvođača Beckhoff

3.1.4 Povezivanje računala sa PLC uređajem

Prije početka konfiguracije unutar System Manager sučelja potrebno je uspostaviti fizičku vezu između prijenosnog računala na kojem će se vršiti programiranje, industrijskog računala sa ekranom osjetljivim na dodir i PLC uređaja. Za povezivanje su potrebna dva mrežna kabla (RJ45). Jedan mrežni kabel spaja se iz prijenosnog računala na ulaz industrijskog računala, a drugi mrežni kabel ide iz izlaza industrijskog računala na mrežni ulaz PLC uređaja. (Slika 3.16)

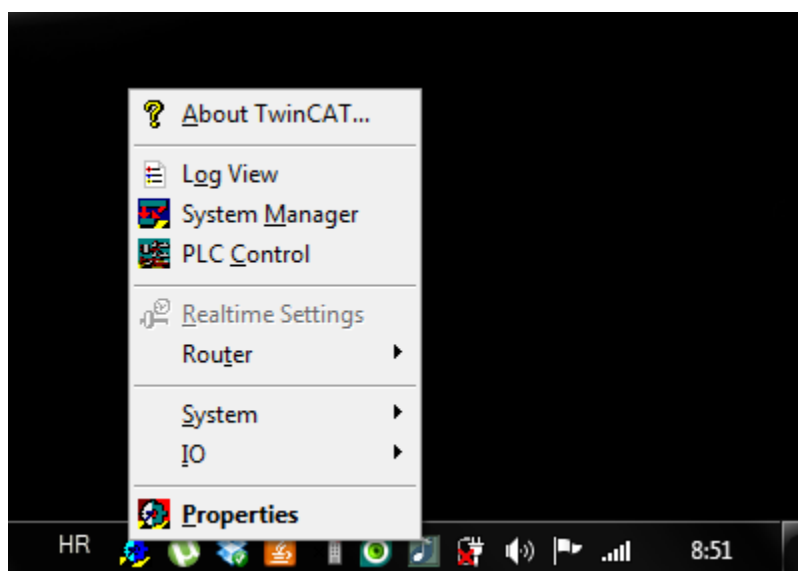


Slika 3.16 Spajanje opreme

3.2 Programiranje PLC uređaja proizvođača Beckhoff

Beckhoff PLC uređaji programiraju se u programskom paketu *TwinCAT*. Programski paket *TwinCAT* dolazi na CD-u uz PLC uređaj, a moguće ga je i preuzeti sa *Beckhoff* službene internet stranice. Najnovija verzija programa koja je trenutno dostupna je *TwinCAT 3*, ali za potrebe ovog rada korištena je verzija *TwinCAT 2* jer novija verzija unatoč unapređenjima još uvijek nije u potpunosti završena.

Nakon instalacije *TwinCAT* paketa moguće je pristupiti alatima za konfiguraciju i izradu programa pritiskom desne tipke miša na *TwinCAT* ikonu koja se nalazi u alatnoj traci na radnoj površini Windows-a (kod digitalnog sata). *System Manager* je programsko sučelje koje se koristi za konfiguraciju i povezivanje sa PLC uređajem, a *PLC Control* je programsko sučelje koje se koristi za izradu programa.



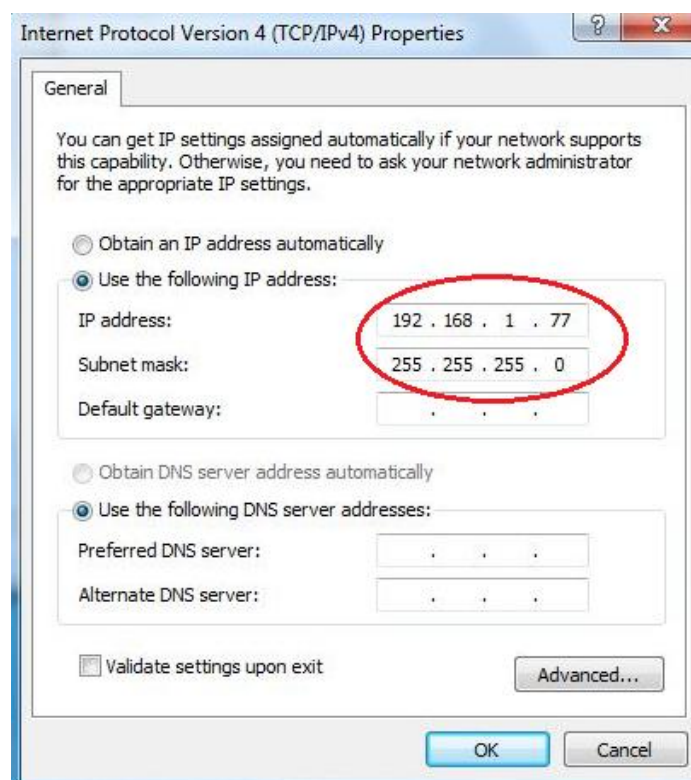
Slika 3.17 TwinCAT izbornik

Prvo se vrši konfiguriranje uređaja kako bi se omogućila komunikacija sa računalom i kako bi se ulazno-izlazne varijable programa povezale sa fizičkim ulazima i izlazima, odnosno sa odgovarajućim modulima PLC-a. Nakon konfiguracije može se pristupiti izradi programa u *PLC Control* programskom sučelju.

Za programiranje *Beckhoff* PLC uređaja mogu se koristiti tri programska jezika: *Statement List* (SL), *Ladder Diagram* (LAD) i *Continuous Function Chart* (CFC). *Statement List* je programski jezik u obliku jednostavnih tekstualnih naredbi, kompliciran je za upotrebu, ali se njime mogu vrlo precizno definirati naredbe koje PLC treba izvršiti. *Ladder Diagram* je

programski jezik koji se prvi koristio za programiranje PLC uređaja. Vrlo se često koristi radi jednostavnosti i praktičnosti, oblika je relejnih shema koje su se koristile prije postojanja PLC uređaja. *Continuous Function Chart* programski je jezik u obliku funkcijskih blokova sa ulazima i izlazima, koji opisuju određeni proces. Vrlo je jednostavan za korištenje, a programiranje se svodi na povezivanje funkcijskih blokova, baš kao i prikazivanje procesa u automatici pomoću blok dijagrama. Velika prednost *TwinCAT*-a je to što ima mogućnost korištenja različitih programskih jezika unutar istog programa, što će biti prikazano prilikom izrade programa za regulaciju sile pritiska hidrauličke preše.

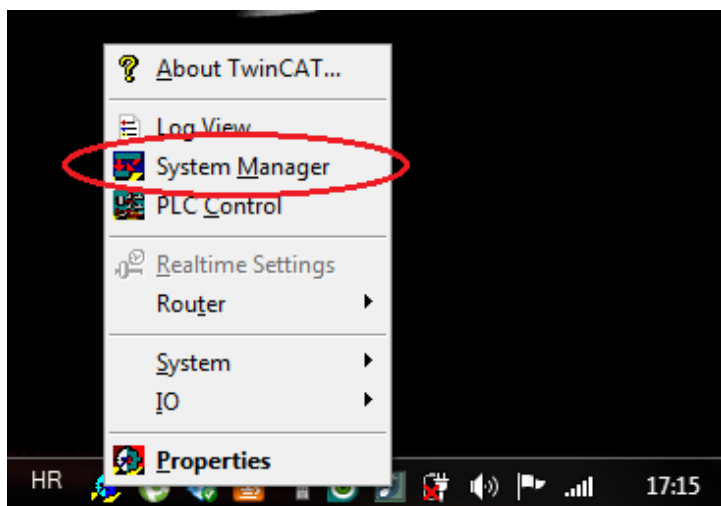
Prije početka programiranja i konfiguracije važno je ostvariti komunikaciju između prijenosnog računala na kojemu će se vršiti programiranje, industrijskog računala na kojemu će biti prikazana vizualizacija i PLC uređaja. Nakon što su uređaji povezani mrežnim kabelom potrebno je na prijenosnom računalu podesiti statičke IP adrese (*Slika 3.18*), koje se zatim unose u postavke industrijskog računala. Kada je komunikacija ostvarena, industrijsko računalo uspješno preuzima podatke sa prijenosnog računala i šalje ih na PLC uređaj, kao i obrnuto.



Slika 3.18 Postavke IP adresa

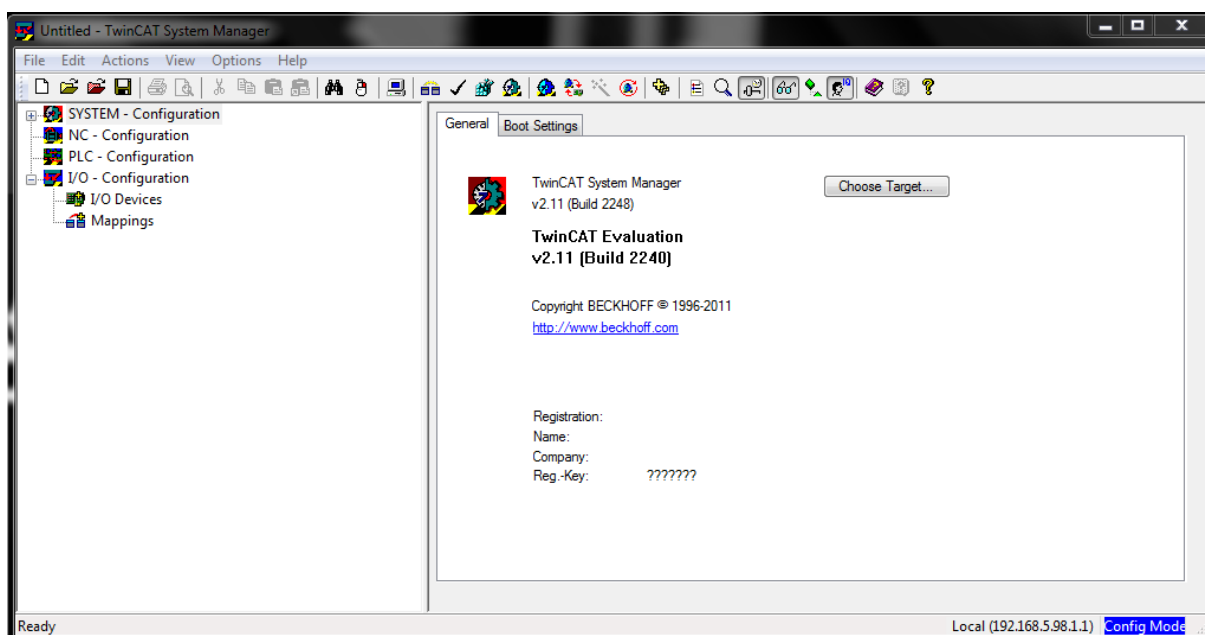
3.2.1 Konfiguracija PLC uređaja

Kao što je prije navedeno, konfiguracija PLC uređaja vrši se u programskom okruženju *System Manager* koje se otvara desnim klikom na *TwinCAT* ikonicu kao što je prikazano na *Slici 3.19*.



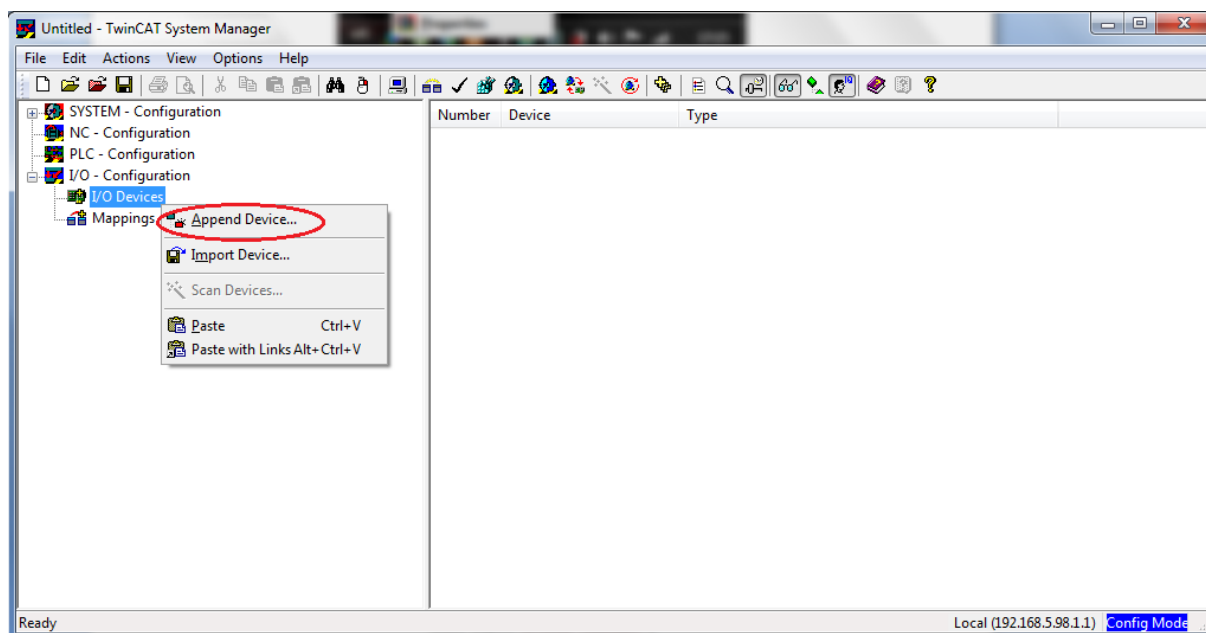
Slika 3.19 Ulazak u System Manager

Nakon toga otvara se programsko okruženje koje je prikazano na *Slici 3.20*. Prije početka konfiguracije potrebno je provjeriti nalazi li se uređaj u *Configuration* načinu rada, što je vidljivo u donjem desnom kutu prozora.



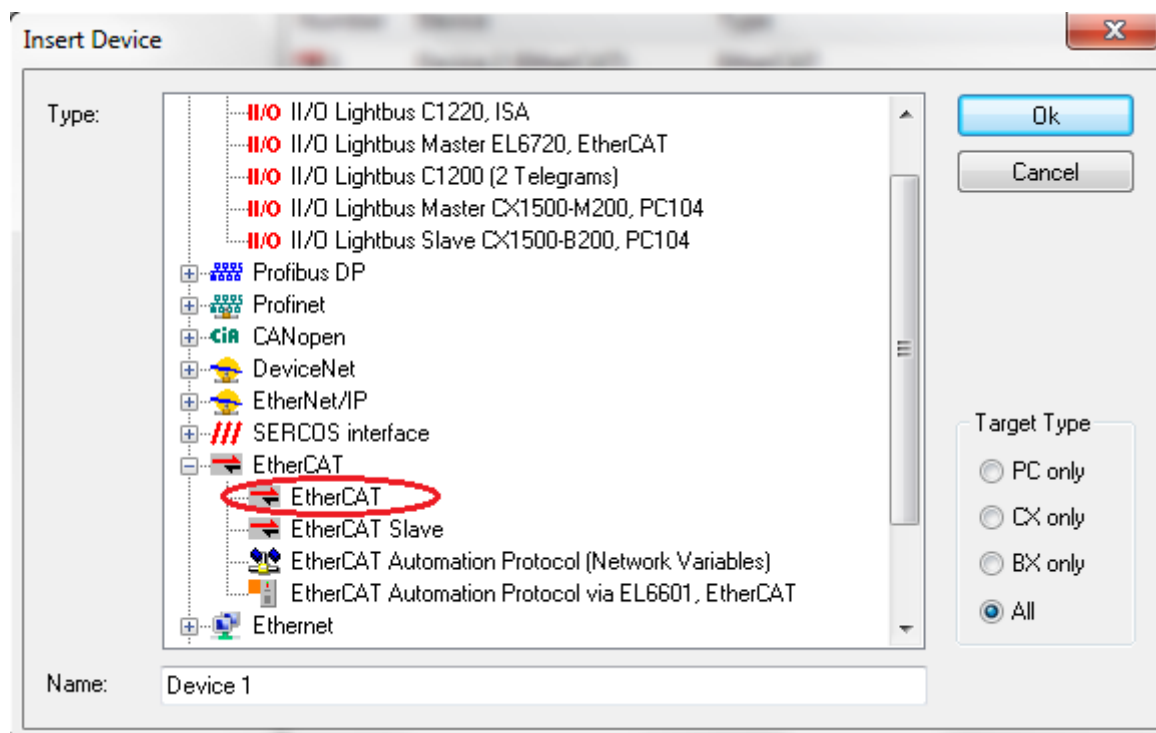
Slika 3.20 Izgled System Manager-a

Sa lijeve strane potrebno je desnom tipkom miša kliknuti na *I/O Devices* i odabrati *Append Device*.



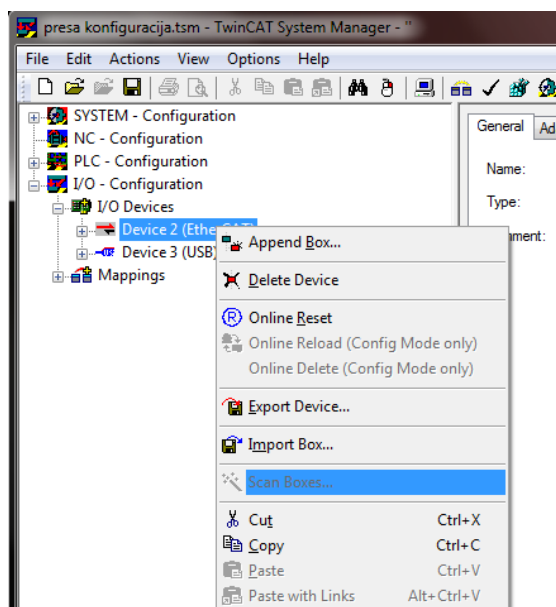
Slika 3.21 Append Device

Nakon toga odabire se *EtherCAT* i u prozoru koji se otvara potrebno je odabrati odgovarajuću mrežnu karticu.

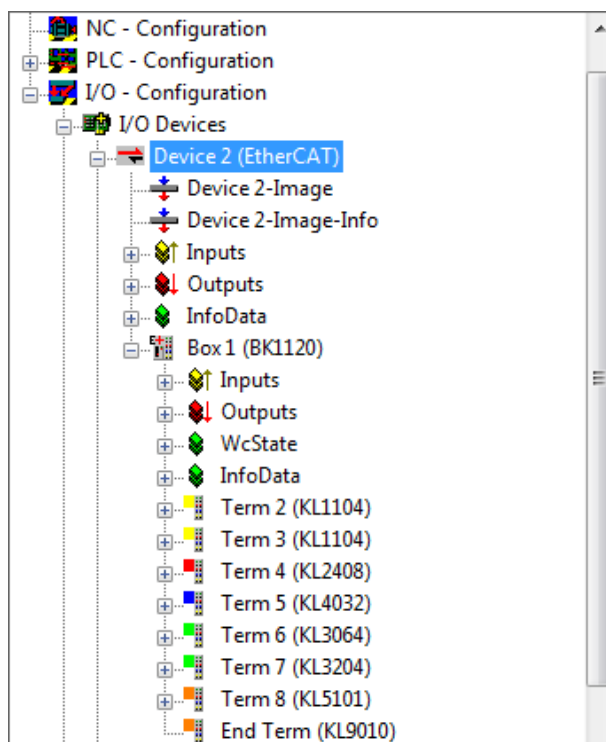


Slika 3.22 Odabir uređaja

Sa desne strane pod *I/O Devices* pojavljuje se novi uređaj pod nazivom *Device 2*. Kada je uređaj pronađen, potrebno je učitati sve modulne kartice koje su priključene na PLC uređaj. To se izvodi tako da se klikne desnom tipkom miša na *Device 2* i odabere se opcija *Scan for Boxes* (*Slika 3.23*). Nakon toga vidljive su sve modulne kartice spojene na PLC uređaj, a za izradu ovog zadatka bitni su analogni i digitalni ulazi i izlazi.



Slika 3.23 Dodavanje modulnih kartica



Slika 3.24 Prikaz modulnih kartica

Kartice koje su bitne za izradu ovog rada su:

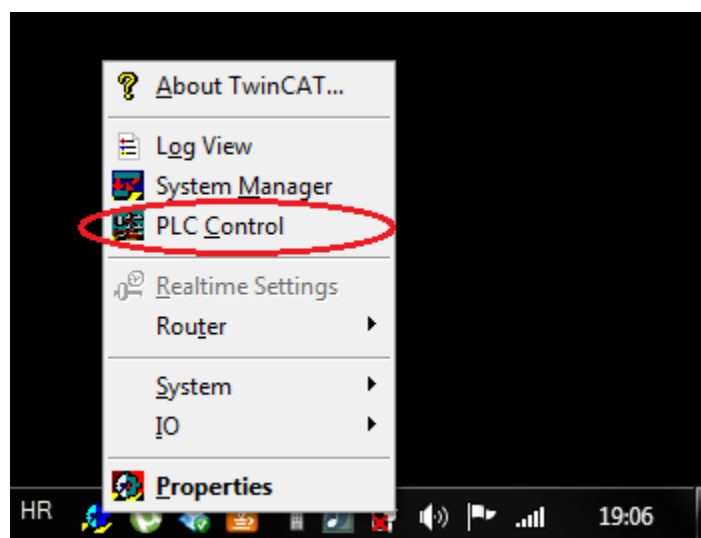
- KL2408 - digitalni izlazi
- KL3064 - analogni ulazi
- KS4032 - analogni izlaz

Ostale modulne kartice koriste se za druge laboratorijske postave, a među njima se nalaze još i digitalni ulazi, modulna kartica za enkoder i modulna kartica za PT100 otpornik. Modulne kartice za enkoder i PT100 zahtijevaju dodatno podešavanje, ali to nije bitno za rješavanje ovog zadatka.

Da bi pristupili podacima sa ulaznih i izlaznih modulnih kartica PLC uređaja potrebno je mapirati te podatke, odnosno definirati referencu fizičkih priključaka na varijable u programu. Na taj način PLC uređaju je omogućeno da očitane ulaze sprema u zadane varijable kako bi se mogli očitati. Kako bi napravili varijable potrebno je otvoriti *PLC Control* programsko okruženje i deklarirati varijable, a deklaracija varijabli i osnove programiranja objašnjeni su u slijedećem poglavlju.

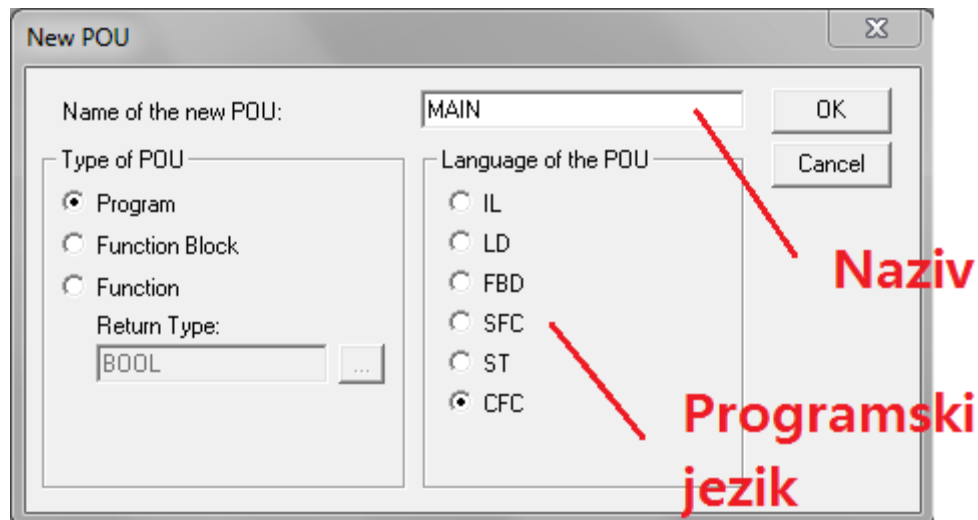
3.2.2 Osnove programiranja u TwinCAT-u

Kako bi napravili varijable potrebno je otvoriti *PLC Control* programsko okruženje desnim klikom miša na ikonicu *TwinCAT*. (Slika 3.25)



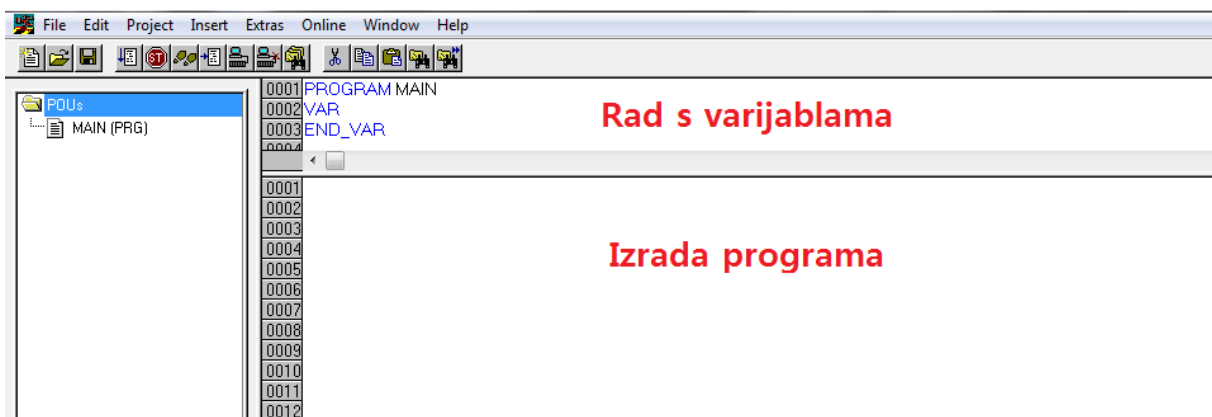
Slika 3.25 Otvaranje PLC Control programskog okruženja

Nakon toga potrebno je u izborniku *File* odabrati *New*. Otvara se prozor (Slika 3.26) u kojemu se odabire naziv programa, kao i programski jezik.



Slika 3.26 Otvaranje novog programa

Pritiskom na tipku *OK* otvara se programsko okruženje za programiranje koje se sastoji od dva glavna dijela. Gornji dio služi za deklaraciju i pozivanje varijabli, dok drugi dio služi za izradu programa.

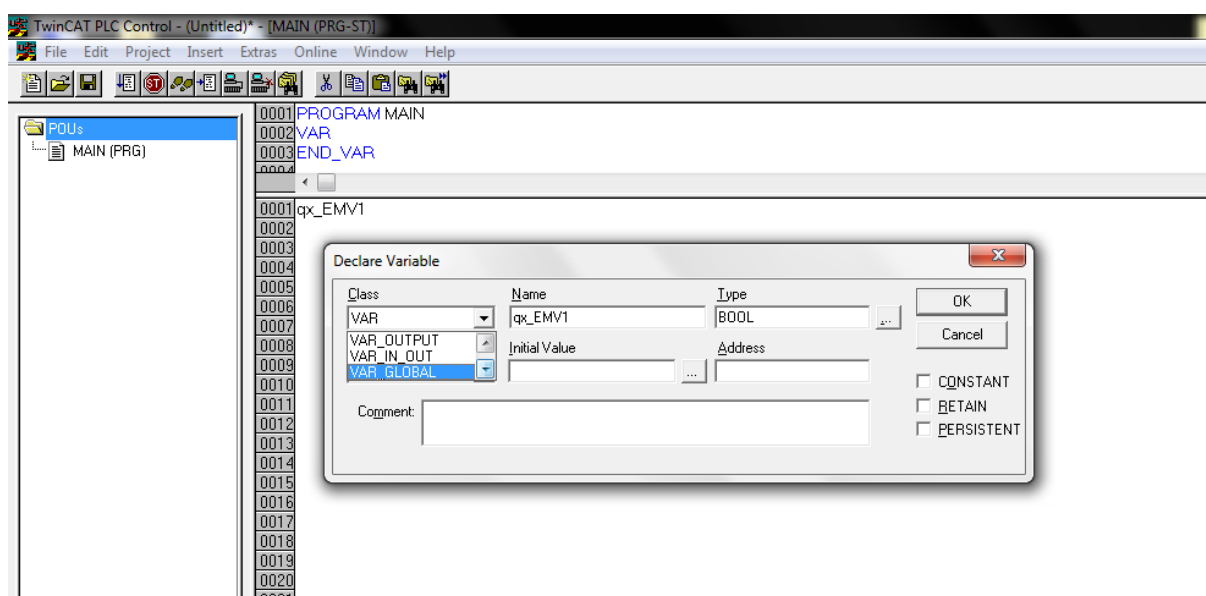


Slika 3.27 Izgled programskog okruženja

Sada se može započeti sa deklaracijom varijabli. U *TwinCAT*-u se varijable dijele na dvije glavne vrste, a to su globalne varijable i lokalne varijable. Globalne varijable su one varijable koje se koriste u cijelom programu, odnosno mogu se pozvati u bilo kojem dijelu programa (potprograma). Upravo tako će se deklarirati i varijable koje će predstavljati fizičke ulaze,

odnosno izlaze PLC uređaja. Lokalne varijable su one varijable koje su potrebne samo za izvođenje određenog dijela programa, dok se u ostatku programa ne koriste. Kao lokalne varijable deklariraju se npr. varijable parametara regulatora jer su takve varijable korištene samo u dijelu programa u kojem se vrši regulacija.

Najprije je potrebno definirati varijable koje će predstavljati veličine sa fizičkih ulaza i izlaza, kao i varijable koje će se koristiti u cijelom programu (globalne varijable). Varijable se definiraju na način da se upiše ime varijable i nakon toga se pritisne tipka *Enter*. Otvara se prozor u kojemu se određuju svojstva varijable. (Slika 3.28)



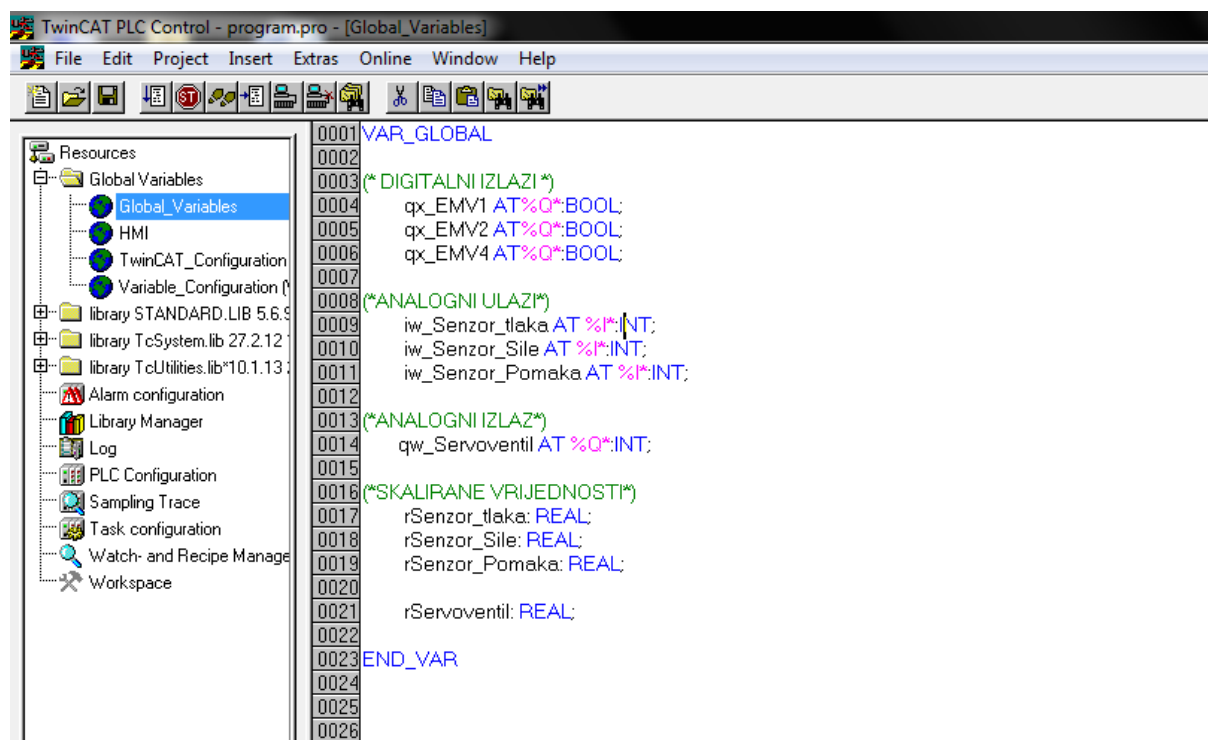
Slika 3.28 Određivanje svojstava varijable

Značenje polja prilikom određivanja svojstava varijable:

- Class - razina dostupnosti varijable (lokalna ili globalna)
- Name - ime varijable
- Type - tip varijable
- Address - adresa priključka na PLC uređaju

Nakon što se ispune polja, potrebno je pritisnuti OK. Na taj način varijabla je dodana na listu globalnih varijabli.

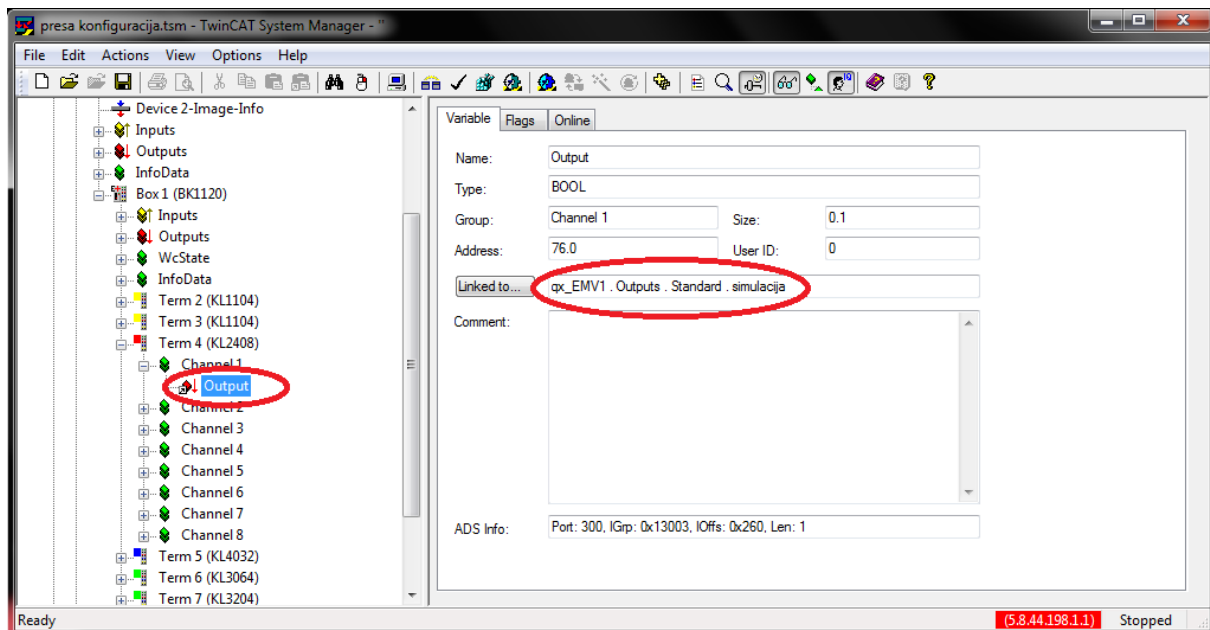
Isti postupak potrebno je ponoviti za sve globalne varijable. Nakon toga možemo otvoriti prikaz svih globalnih varijabli. (Slika 3.29)



Slika 3.29 Globalne varijable

Kada su sve globalne varijable definirane potrebno je spremi projekt pod proizvoljnim nazivom koristeći *File > Save as*.

Nakon toga u *System Manageru* treba desnim klikom miša odabrati *PLC Configuration* pa pritisnuti *Append PLC Project* i odabrati PLC projekt koji je prethodno spremljen. Kada se projekt učita, u *PLC Configuration* izborniku pojavljuju se varijable koje su definirane u projektu. Dvostrukim klikom miša na varijablu otvara se prozor u kojem je potrebno odabrati kojem fizičkom priključku PLC-a pripada varijabla. Tako se u ovom slučaju varijabli qx_EMV1 dodjeljuje izlaz Term 4 (KL2408), a na tom izlazu odabire se Channel 1 jer je upravo iz tog priključka modulske kartice žica preko konektora spojena na elektromagnetski ventil. Isti postupak ponavlja se za sve ulaze i izlaze. (Slika 3.30)



Slika 3.30 Pridruživanje varijable fizičkom priključku

Popis ulaznih i izlaznih varijabli sa fizičkim priključcima:

Digitalni izlazi:

- qx_EMV1 - Term4 (KL2408) - Channel 1
- qx_EMV2 - Term4 (KL2408) - Channel 2
- qx_EMV4 - Term4 (KL2408) - Channel 3

Analogni ulazi:

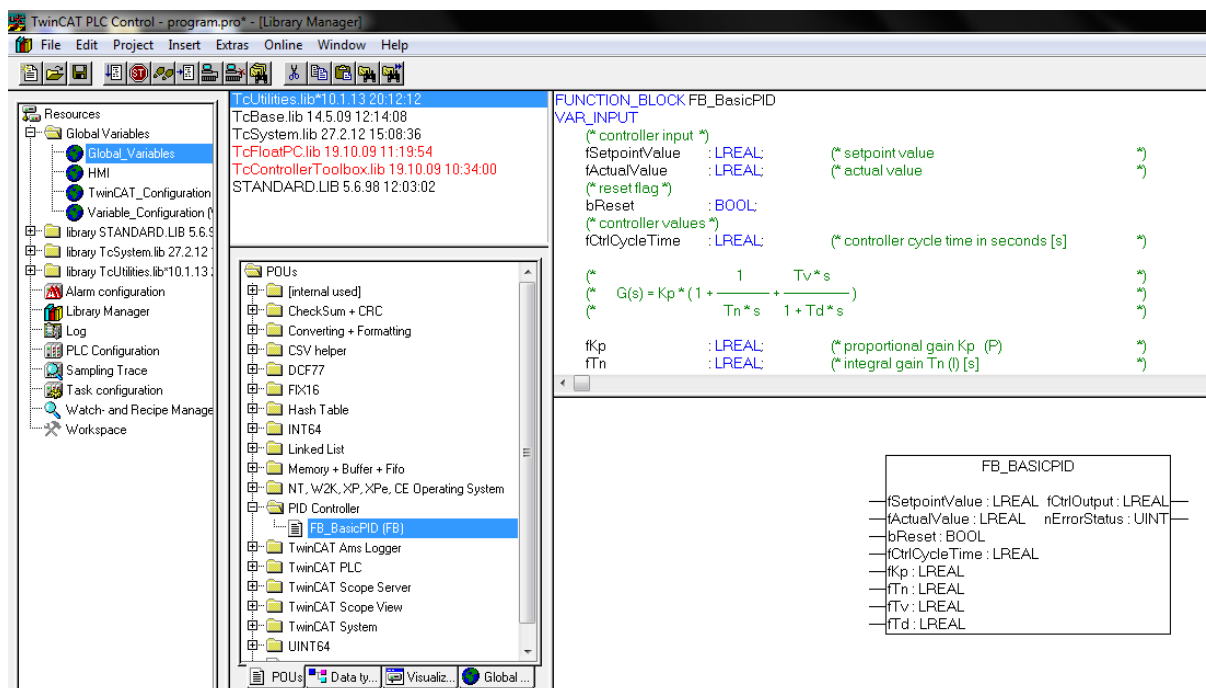
- iw_Senzor_tlaka - Term6 (KL3064) - Channel 2
- iw_Senzor_Sile - Term6 (KL3064) - Channel 3
- iw_Senzor_Pomaka - Term6 (KL3064) - Channel 1

Analogni izlaz:

- qw_Servoventil - Term 5 (KL4032) - Channel 2

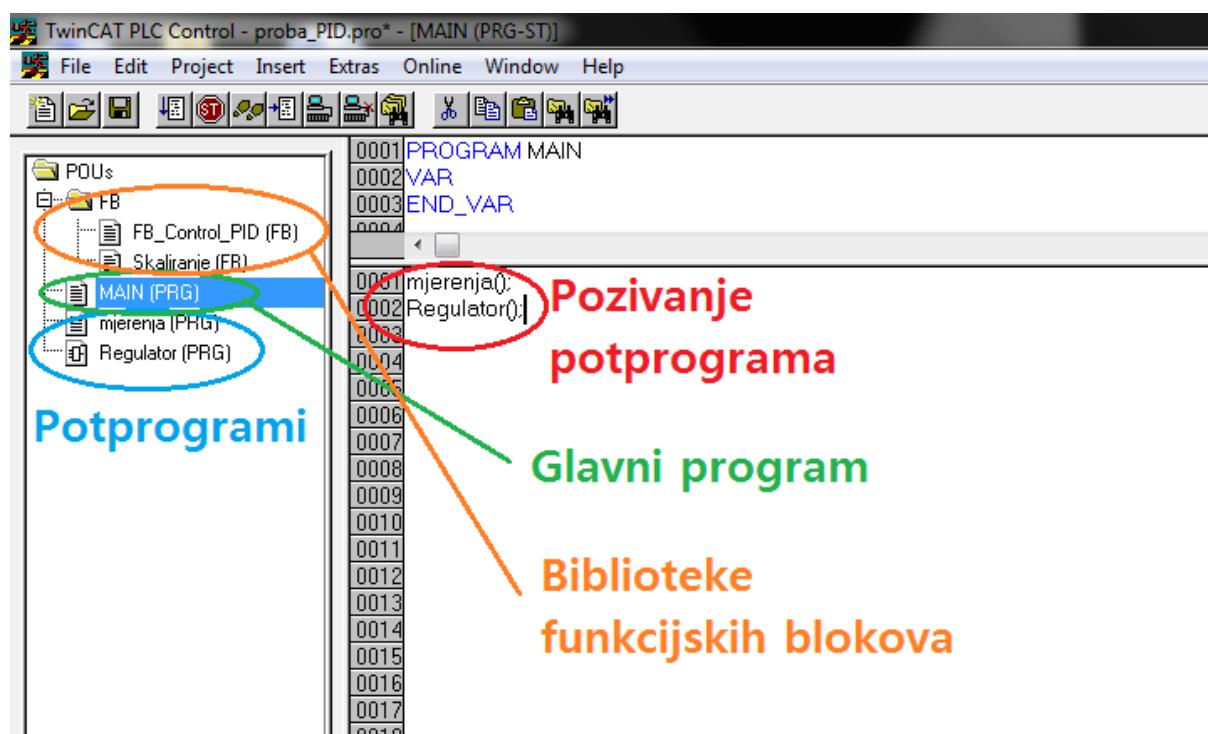
Kada su sve varijable dodijeljene fizičkim priključcima, može se pristupiti programiranju.

U početnoj fazi izrade programa, nakon definiranja varijabli, potrebno je učitati biblioteke u kojima su pohranjeni gotovi funkcijski blokovi i njihove liste naredbi. Biblioteke se otvaraju na način da se pritisne tipka *Window* na alatnoj traci i iz padajućeg izbornika se odabere naredba *Library manager*. Otvara se prozor kao na *Slici 3.31* u kojem se odabere željena biblioteka.



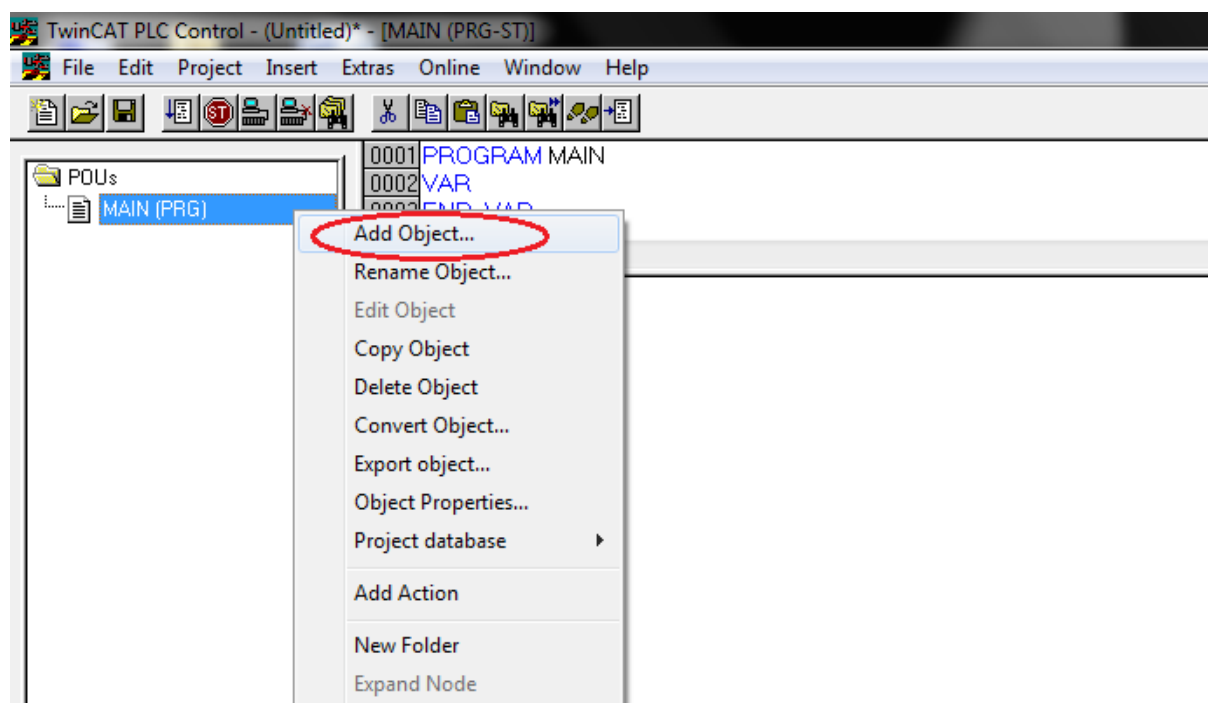
Slika 3.31 Sučelje za odabir biblioteke

Nakon što su biblioteke učitane potrebno je kreirati programe i potprograme. Za svaki potprogram možemo birati programski jezik koji će u njemu biti korišten. Prvo se izrađuje glavni program koji se najčešće naziva MAIN. Taj program najčešće se koristi samo za pozivanje drugih potprograma koji će se izvršavati pod željenim uvjetima. U program je poželjno radi preglednosti dodati i mapu koja će se koristiti za spremanje biblioteka funkcijskih blokova. Izgled programa sa potprogramima i bibliotekama funkcijskih blokova prikazan je na *Slici 3.32*.



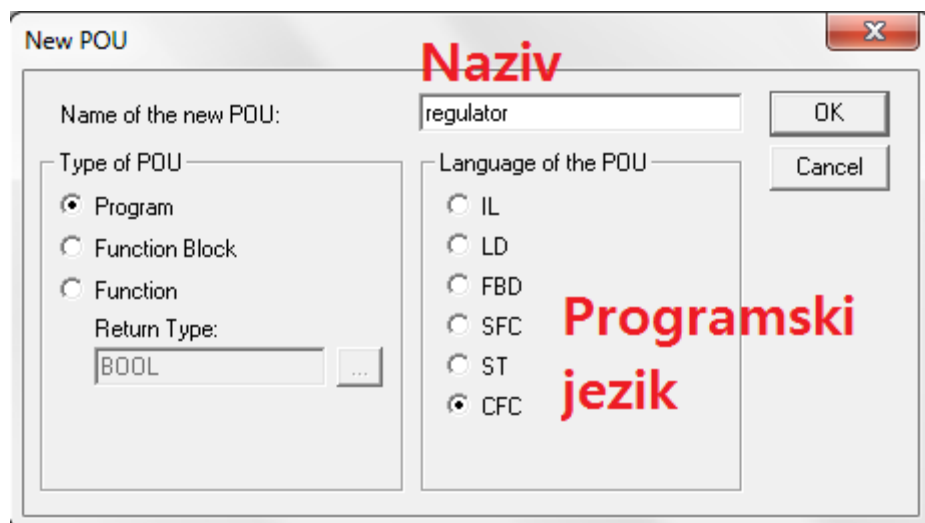
Slika 3.32 Struktura programa

Potprogrami dodaju se na način da se desnom tipkom miša klikne na mapu *POUs* sa lijeve strane i odabere se *Add Object* kao što je prikazano na Slici 3.33.



Slika 3.33 Dodavanje potprograma

Otvara se prozor prikazan na *Slici 3.34* u kojem odabiremo naziv potprograma i programski jezik koji će se u tom potprogramu koristiti.

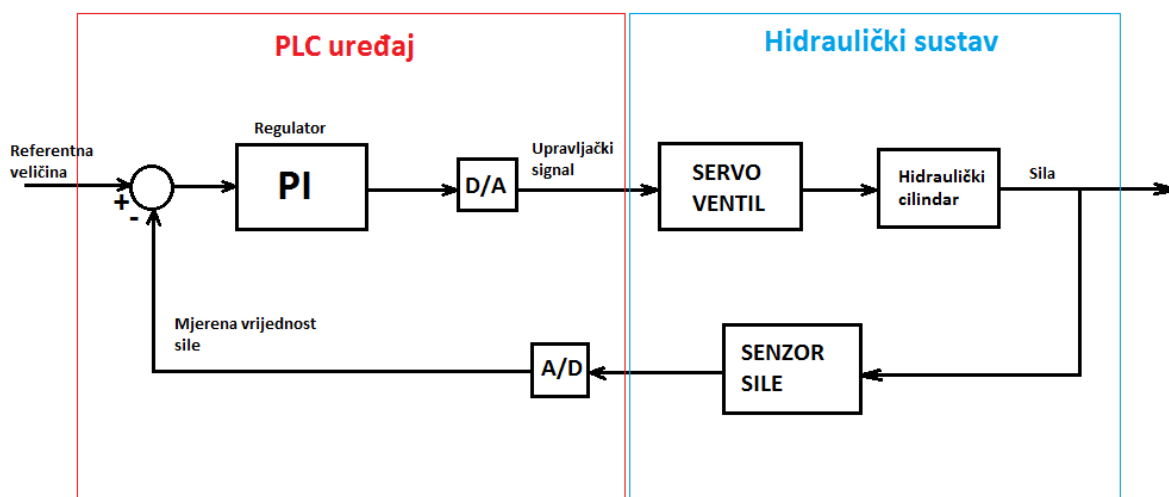


Slika 3.34 Odabir programskog jezika potprograma

Glavni program (MAIN) najčešće se radi pomoću naredbi odnosno u *Statement List* obliku, dok se ostali potprogrami radi jednostavnosti i ljepšeg prikaza rade u *Ladder Diagram* obliku ili kao *Continuous Function Chart*.

4 IZRADA PROGRAMA

Jedan od zadataka ovog diplomskog rada je izrada programa za regulaciju sile elektrohidrauličkog servosustava (hidrauličke preše). Kao što je već spomenuto, izvršni član regulacijskog kruga u ovom slučaju je servo ventil. Protok kroz servo ventil utječe na tlak u komori hidrauličkog cilindra koji predstavlja objekt regulacije. Mjerni član regulacijskog sustava je senzor sile, a senzor tlaka i senzor pomaka služe samo za prikaz vrijednosti. PLC uređaj ima ulogu čitanja vrijednosti sa senzora, ulogu PI regulatora i slanja upravljačkog signala na servo ventil. Regulacijski krug hidrauličke preše prikazan je na *Slici 4.1*.

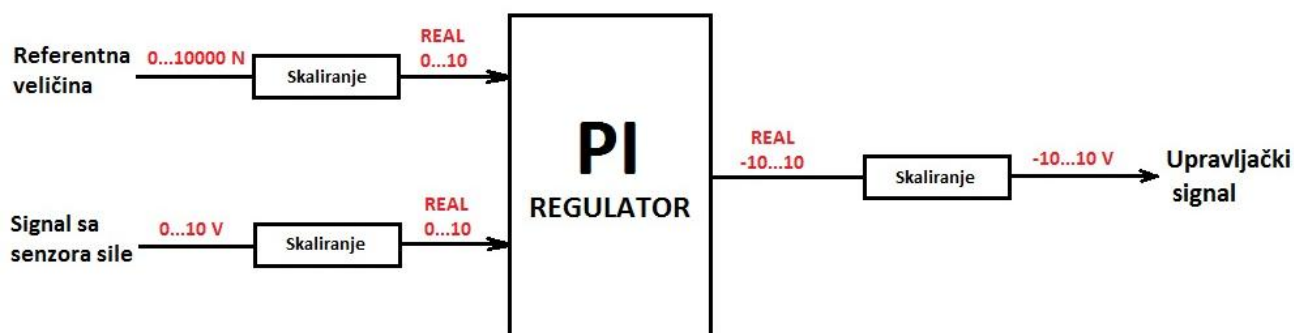


Slika 4.1 Blok dijagram regulacijskog kruga

Iz blok dijagrama regulacijskog kruga jasno se vidi da će u svrhu regulacije PLC uređaj iz okoline primati referentnu veličinu i mjerenu vrijednost sa senzora sile, a na temelju proračuna PI regulatora slati će signal na servo ventil. U programu je svakako potrebno uvesti skaliranje određenih veličina kako bi rasponi vrijednosti sa senzora i regulatora bili usklađeni. Postupak skaliranja biti će objašnjen u slijedećem poglavlju.

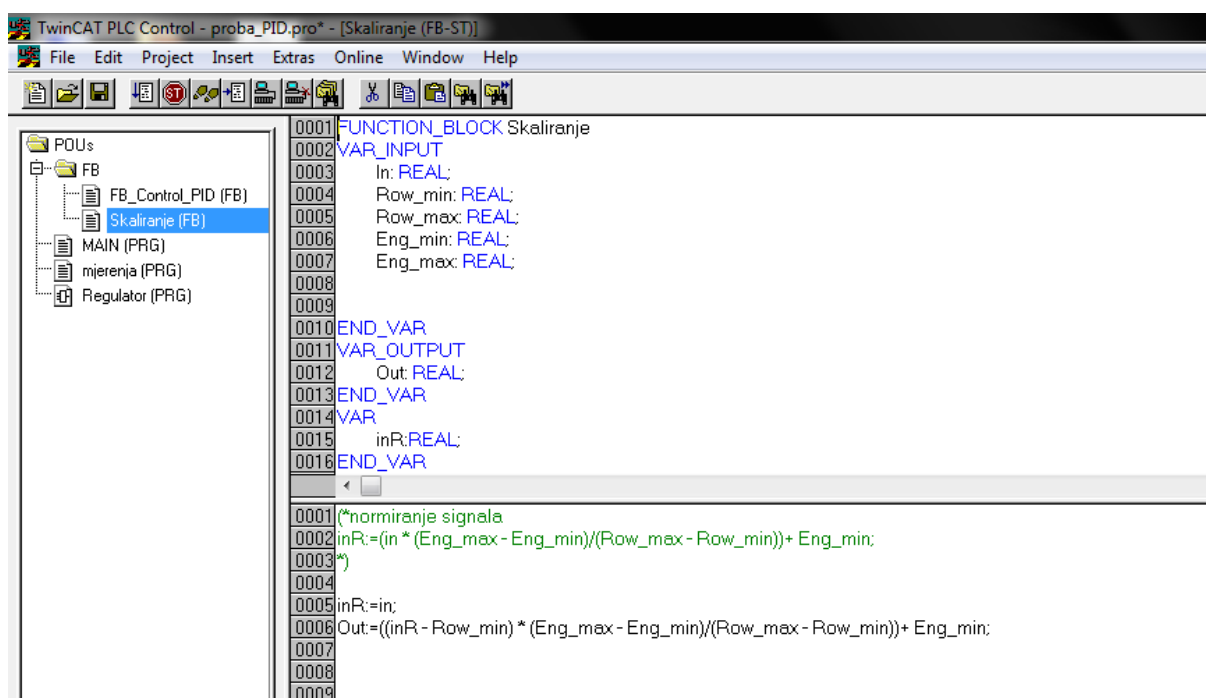
4.1 Izrada potprograma za skaliranje signala

Kako bi rad s veličinama sa senzora bio moguć u program je potrebno uvesti skaliranje signala, odnosno usklađivanje raspona signala. Referentna veličina zadaje se u rasponu od 0 do 10000 N, a skaliranjem se signal referentne veličine svodi na realnu vrijednost raspona od 0 do 10. Signal sa senzora sile je analogni i može iznositi od 0 do 10 V pa je i njega potrebno skaliranjem svesti na realnu vrijednost u rasponu od 0 do 10. Kada se ove dvije veličine skaliraju moguće je izračunati regulacijsku pogrešku, odnosno razliku referentne i mjerene veličine. Upravljačka veličina (izlaz iz regulatora) biti će realna vrijednost u rasponu od -10 do 10. Potrebno je još skalirati tu realnu vrijednost na analogni signal u vrijednosti od -10 V do +10 V kako bi servo ventil primao ispravan signal. Skaliranje ulaza i izlaza regulatora prikazano je na *Slici 4.2*.



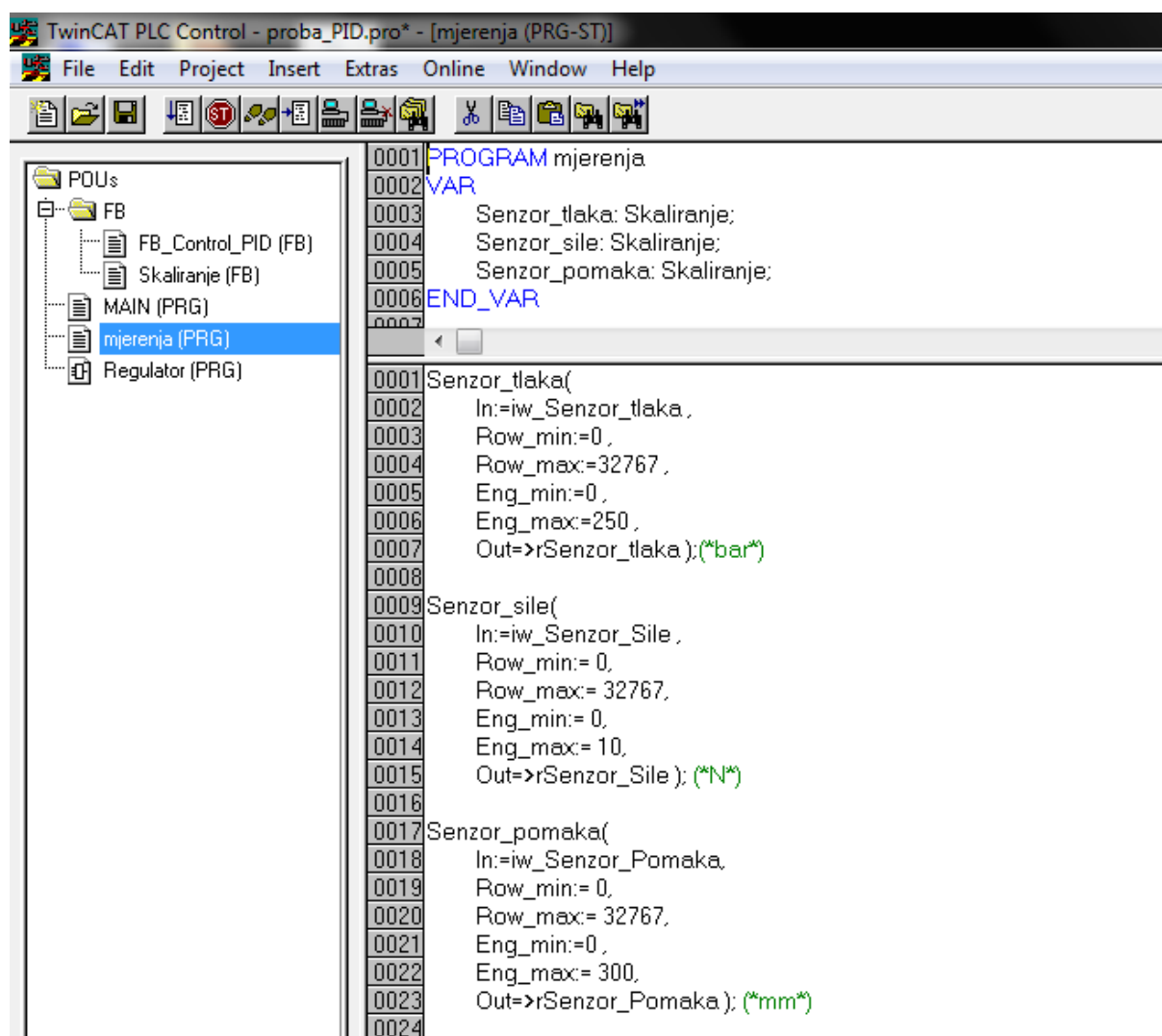
Slika 4.2 Skaliranje signala

U svrhu skaliranja signala u mapu *FB* dodan je novi funkcijski blok koji je nazvan *Skaliranje*. Funkcija *Skaliranje* može se kasnije pozivati u potprogramima pisanjem linija koda (*Statement List*) ili se može koristiti u obliku funkcijskog bloka ako radimo sa *Continuous Function Chart* programskim jezikom. Izgled funkcije *Skaliranje* prikazan je na *Slici 4.3*.



Slika 4.3 Funkcija skaliranje

Nakon što je napravljena funkcija Skaliranje, dodan je i novi potprogram u kojem će se ta funkcija iskoristiti kako bi skalirali veličine sa senzora. Potprogram je nazvan *mjerenja* i prikazan je na *Slici 4.4*. Korišten je *Statement List* programski jezik, a program radi na način da u funkciju skaliranje ubacuje očitane vrijednosti sa senzora sile, tlaka i pomaka, a skaliranje vrijednosti sprema u nove realne varijable nazvane: rSenzor_tlaka, rSenzor_Sile i rSenzor_Pomaka. Signal sa senzora tlaka u rasponu je od 0 do 10 V, a skaliranjem se taj signal pretvara u realnu vrijednost u rasponu od 0 do 250 što predstavlja vrijednost tlaka izraženu u barima. Signal sa senzora pomaka je također u rasponu od 0 do 10 V, a skaliranjem se pretvara u realnu vrijednost u rasponu od 0 do 300, što predstavlja vrijednost pomaka izraženu u milimetrima. Skaliranja referentne i upravljačke veličine biti će izvedena u potprogramu Regulator u obliku funkcijskog bloka. Izrada potprograma regulator prikazana je u slijedećem poglavlju.

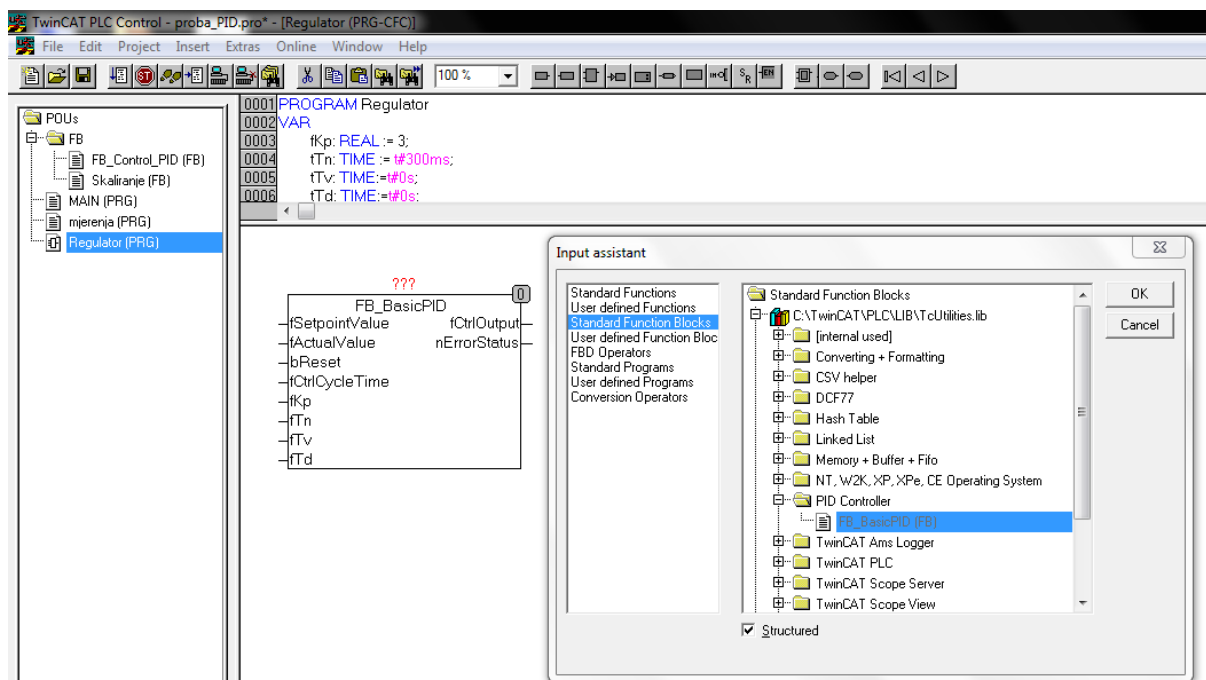


Slika 4.4 Izrada potprograma „mjerjenja“

4.2 Izrada potprograma za regulaciju

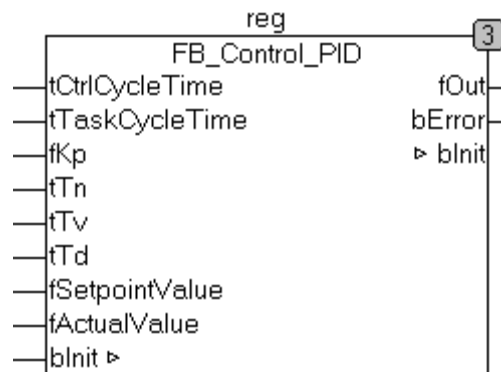
Potprogram za regulaciju rađen je u programskom jeziku *Continuous Function Chart*. Glavni dio potprograma Regulator je funkcijski blok PI regulatora. Bitno je napomenuti da u biblioteci *TwinCAT*-a postoji samo funkcijski blok PID regulatora, a PI regulator se dobije tako da se parametri regulatora koji pripadaju D članu podese u nulu. Na taj način program sam prepoznae da se D član isključuje iz regulacije.

Za izradu regulacijskog kruga potrebno je koristiti samo tri vrste funkcijskih blokova. Za ulaz u regulator koriste se blokovi *Input*, za upisivanje vrijednosti u varijable koriste se blokovi *Output*, a za izvođenje određenih funkcija koristi se *Box*. PID regulator dobije se na način da se u bloku *Box* lijevom tipkom miša klikne na naziv, a zatim se na tipkovnici pritisne *F2* kako bi se otvorio *Input Assistant* (Slika 4.5). U otvorenom prozoru moguće je odabrati već postojeće funkcijske blokove koji dolaze sa programskim paketom *TwinCAT* (*Standard function blocks*), a moguće je odabrati i funkcijske blokove koji su prethodno kreirani od strane korisnika (*User defined function blocks*). Ako znamo točan naziv funkcijskog bloka, nije potrebno otvarati *Input Assistant* nego se naziv bloka može samo upisati.



Slika 4.5 Odabir funkcijskog bloka

Na *Slici 4.6* prikazan je izgled funkcijskog bloka PID regulatora.



Slika 4.6 Funkcijski blok PID regulatora

Značenje bitnih ulaza i izlaza bloka:

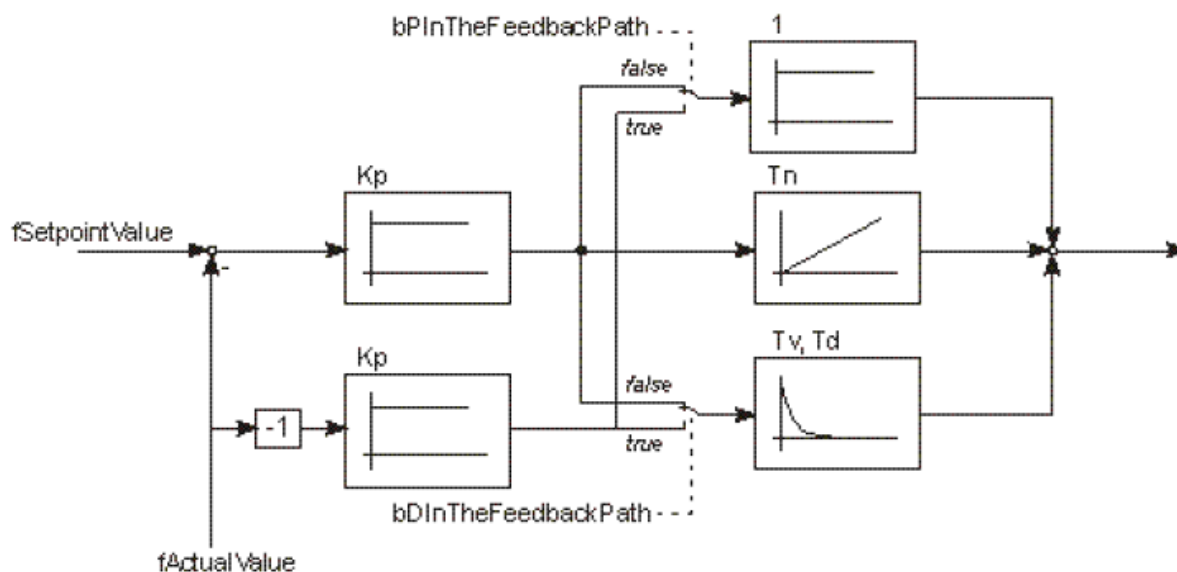
- tCtrlCycleTime - vrijeme ponavljanja ciklusa regulacije, određuje koliko često regulator čita ulaze i određuje izlaz
- tTaskCycleTime - vrijeme izračuna regulacije, mora biti manje od tCtrlCycleTime
- fKp - proporcionalno pojačanje regulatora
- tTn - vremenska konstanta integralnog djelovanja
- tTv - vremenska konstanta derivacijskog djelovanja
- tTd - vremenska konstanta kašnjenja
- fSetpointValue - referentna vrijednost
- fActualValue - mjerena vrijednost
- fOut - upravljački signal.

Prijenosna funkcija regulatora izgleda ovako:

$$G_{PID}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_n s} + \frac{T_v s}{1 + T_d s} \right)$$

gdje su: K_p - proporcionalno djelovanje, T_n - integralno djelovanje, T_v - derivacijsko djelovanje, T_d - vremenska konstanta kašnjenja derivacijskog djelovanja.

Struktura PID regulatora prikazana je na *Slici 4.7*.

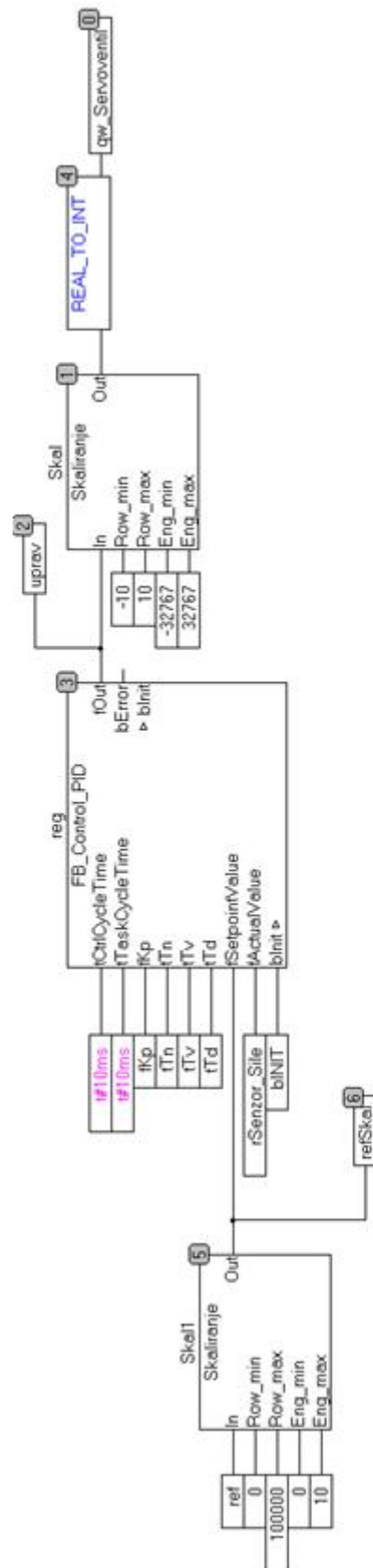


Slika 4.7 Struktura PID regulatora

U potprogramu za regulaciju dodana su još dva bloka za skaliranje. Potrebno je skalirati referentnu veličinu budući da se ona zadaje u rasponu od 0 do 10000 N, a upravljački signal potrebno je pretvoriti u napon u rasponu od -10 V do 10 V kako bi servo ventil primao ispravan signal. Bitno je još naglasiti da funkcijski blok PID regulatora radi sa varijablama tipa REAL, pa je sve vrijednosti ulaznih varijabli koje su tipa INT potrebno pretvoriti u REAL. Isto tako je upravljački signal potrebno pretvoriti u INT tip kako bi se signal u ispravnom obliku prenio na servo ventil.

Parametri regulatora dobiveni su metodom pokušaja i pogreške. D djelovanje je isključeno na način da su parametri regulatora koji određuju D član postavljeni u nulu.

Na *Slici 4.8* prikazan je izgled potprograma *Regulator*.



Slika 4.8 Potprogram za regulaciju

Na *Slici 4.9* prikazane su varijable potprograma Regulator.

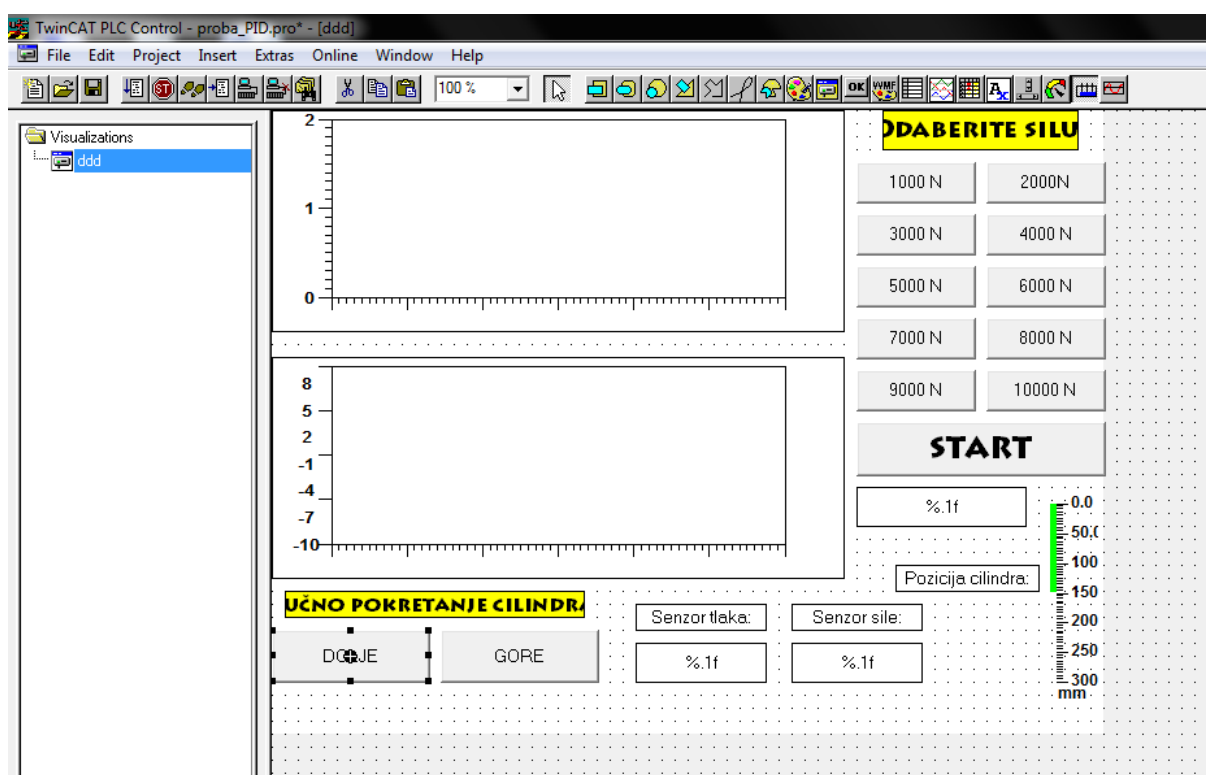
0001	PROGRAM Regulator
0002	VAR
0003	fKp: REAL := 3;
0004	tTn: TIME := t#300ms;
0005	tTv: TIME:=t#0s;
0006	tTd: TIME:=t#0s;
0007	Skal: Skaliranje;
0008	uprav: REAL;
0009	bINIT: BOOL;
0010	reg: FB_Control_PID;
0011	Skal1: Skaliranje;
0012	refSkal: REAL;
0013	out: REAL;
0014	END_VAR
0015	
0016	

Slika 4.9 Varijable potprograma Regulator

4.3 Izrada vizualizacije

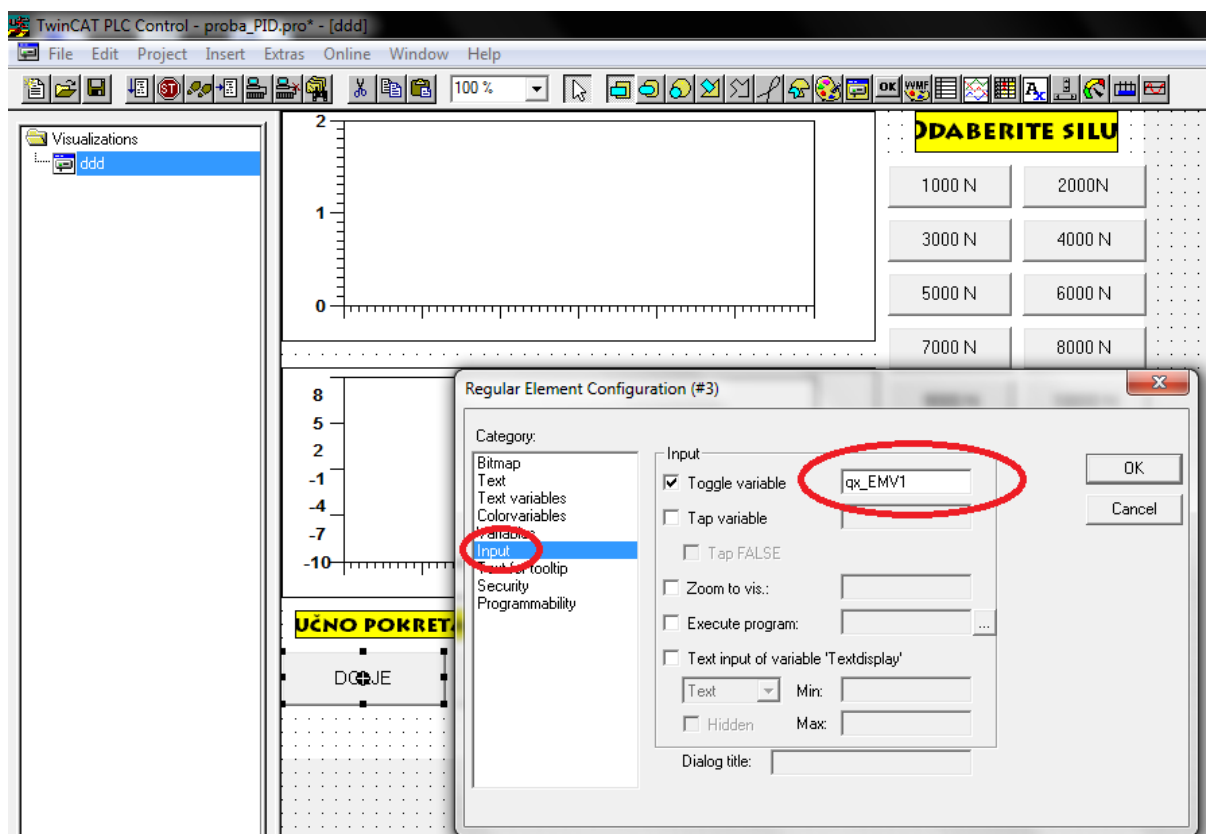
Nakon izrade programa za regulaciju sile hidrauličke preše napravljena je i vizualizacija programa. Vizualizacija služi za upravljanje hidrauličkom prešom, zadavanje referenci, pokretanje programa, ali i za prikaz stanja pojedinih elemenata sustava. Budući da industrijsko računalo ima ekran osjetljiv na dodir, vizualizacija omogućava vrlo praktično upravljanje hidrauličkom prešom. Vizualizacija automatiziranih procesa sve se češće koristi u industriji, a *Beckhoff* nudi dosta mogućnosti i praktičnih rješenja u tom području.

Na *Slici 4.10* prikazana je vizualizacija izrađena za regulaciju sile hidrauličke preše.



Slika 4.10 Vizualizacija programa

Na *Slici 4.10* može se vidjeti da se u vizualizaciji tokom regulacije iscrtavaju dva grafa. Gornji graf prikazuje stvarni iznos hidrauličke preše (plava boja) u odnosu na referentnu vrijednost sile (crvena boja). Na donjem grafu prikazan je iznos upravljačkog signala tokom regulacije. Ispod grafova nalaze se dvije tipke za pokretanje hidrauličkog cilindra. Tipka „DOLJE“ mijenja stanje varijable `qx_EMV1` odnosno aktivira i deaktivira elektromagnetski ventil i pušta fluid u radnu komoru hidrauličkog cilindra. tipka „GORE“ aktivira varijablu `qx_EMV2` i služi za podizanje hidrauličkog cilindra. Kako bi se izradila tipka potrebno je u sučelju za izradu vizualizacije kreirati element *Button*. Duplim klikom miša na element *Button* otvara se novi prozor u kojem se odabire opcija *Input*. Potrebno je označiti polje *Toggle variable* i upisati varijablu na koju se tipka odnosi (*Slika 4.11*). Ukoliko varijabla nije globalna, prije imena varijable potrebno je upisati točan naziv potprograma u kojem se nalazi varijabla i prije imena varijable staviti točku.



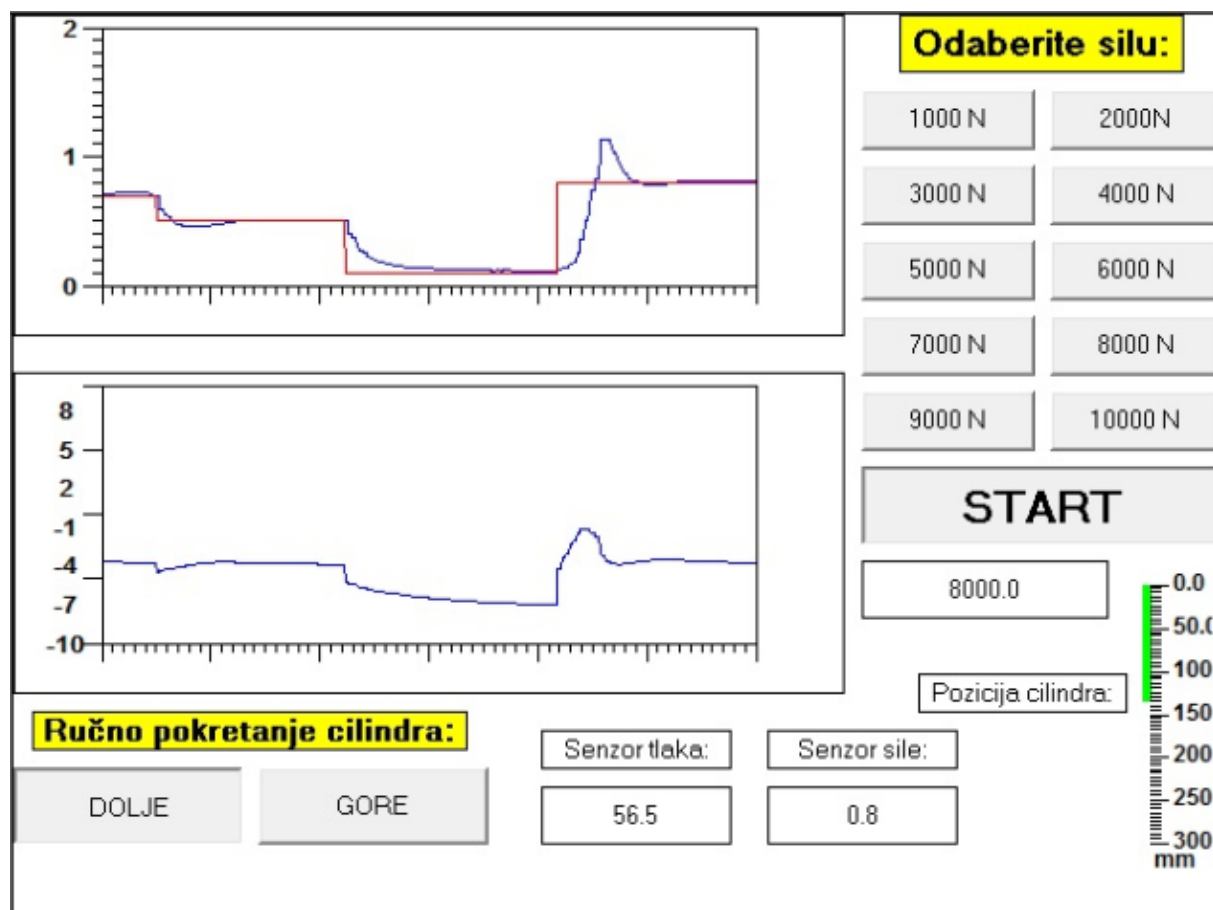
Slika 4.11 Izrada tipke

S desne strane nalaze se tipke kojima se određuje referentna veličina sile. Prije početka regulacije potrebno je odabrati željenu silu, a nakon toga pritisnuti tipku „START“. Tipka „START“ pokreće elektromagnetski ventil i time regulacija počinje. U bilo kojem trenutku rada hidrauličke preše može se mijenjati referentna vrijednost, a iznos reference može se vidjeti s lijeve strane na grafičkom prikazu ili ispod tipke „START“. Dolje desno nalazi se grafički prikaz pozicije hidrauličkog cilindra napravljen korištenjem elementa *Bar display*. Pokraj prikaza pozicije nalaze se još i iznos tlaka u radnoj komori cilindra i iznos sile.

Moguće je dodati još korisnih podataka u vizualizaciju, ali treba paziti koliko prostora zauzimaju elementi s obzirom da je ekran industrijskog računala ograničene veličine, a tipke ne smiju biti premale kako bi se mogle jednostavno pritisnuti na ekranu osjetljivom na dodir.

5 EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE

Eksperimentalno ispitivanje izvedeno je na opremi opisanoj u prethodnim poglavljima. Nakon što je program za regulaciju sile sa vizualizacijom izrađen potrebno ga je pokrenuti. Prvo se otvara programsko okruženje *System Manager* i PLC uređaj se postavlja u *Run Mode*. Zatim je u *PLC Control* programskom okruženju u izborniku *Online* potrebno odabrati naredbu *Login*. Nakon toga započinje provjera programa, a ukoliko nema nikakvih grešaka program se učitava na PLC uređaj. U tom trenutku vizualizacija se prikazuje na ekranu industrijskog računala i može se započeti sa zadavanjem referenci i regulacijom (*Slika 5.1*). Na ekranu se također prikazuju i stvarne vrijednosti sa senzora na hidrauličkoj preši. Vrijednosti sa senzora kao i upravljački signali mogu se također vidjeti i na prijenosnom računalu ako otvorimo potprogram *Regulator*.



Slika 5.1 Prikaz vizualizacije

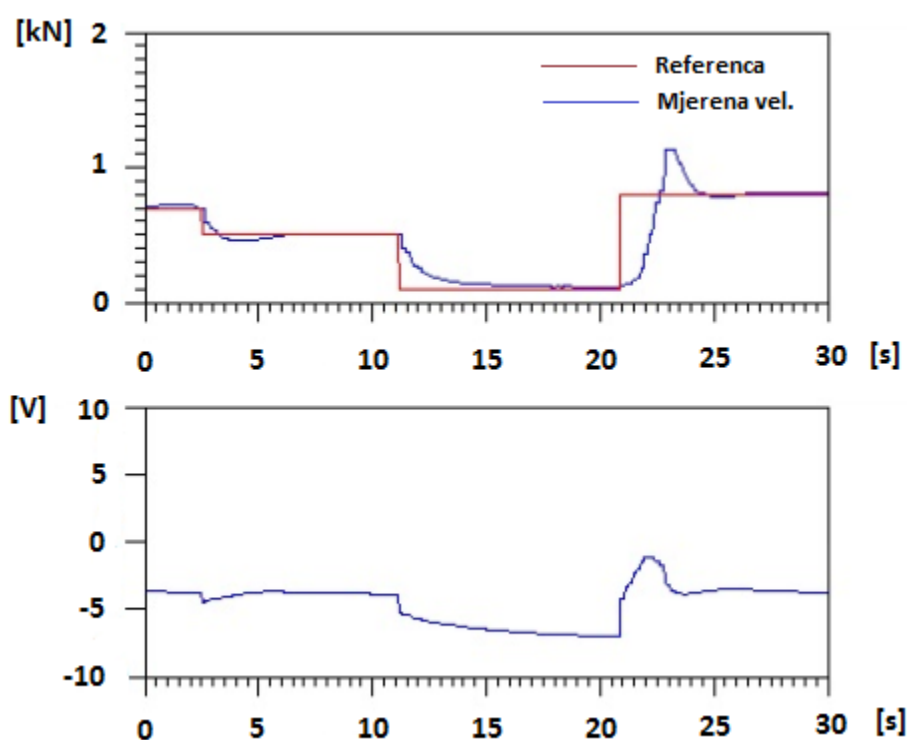
Parametri PI regulatora određeni su metodom pokušaja i pogrešaka.

Odabrane su vrijednosti:

$$K_p = 3,$$

$$T_n = 400 \text{ ms.}$$

Rezultati regulacije sile sa navedenim parametrima PI regulatora prikazani su na *Slici 5.2*.



Slika 5.2 Rezultati regulacije sa PI regulatorom

Iz rezultata regulacije može se vidjeti kako program uspješno radi. Mjerena veličina prati referentnu veličinu, ali parametri regulacije nisu baš zadovoljavajući. Moguće je vidjeti da postoji dosta veliki prebačaj. Iz tog razloga u regulaciju je uključen i D član regulatora. Derivacijski član (vezan za budućnost odziva) utječe na povećanje stabilnosti sustava, poboljšava karakteristike prijelaznog dijela odziva (ubrzava postizanje ravnotežnog stanja), a također i smanjuje prebačaj.

Metodom pokušaja i pogrešaka odabrani su slijedeći parametri PID regulatora:

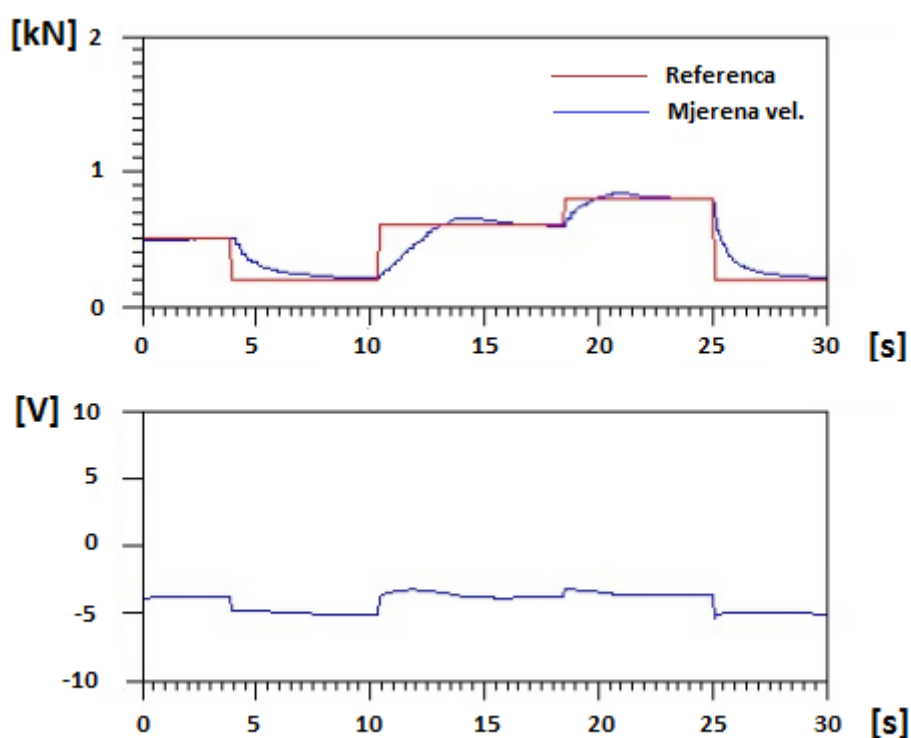
$$K_p = 3,$$

$$T_n = 400 \text{ ms},$$

$$T_v = 30 \text{ ms},$$

$$T_d = 10 \text{ ms}.$$

Rezultati regulacije sile sa navedenim parametrima PID regulatora prikazani su na *Slici 5.3*.



Slika 5.3 Rezultati regulacije sa PID regulatorom

Iz rezultata prikazanih na *Slici 5.3* može se vidjeti kako derivacijski član uspješno smanjuje prebačaj i daje bolje rezultate regulacije.

Iako PID regulator sa navedenim parametrima daje prihvatljive rezultate, bitno je naglasiti da to nisu optimalni parametri i da bi rezultati regulacije mogli biti bolji.

Standardni postupak za određivanje parametara regulacije provodi se na način da se regulacijski krug otvori, odnosno da se prekine povratna veza. Zatim se pošalje signal na servo ventil. Na temelju prijelazne funkcije gibanja cilindra (odnosno postizanja sile) mogu se izračunati parametri regulatora. Optimalni parametri PID regulatora mogli bi se dobiti i npr. metodom numeričkog optimiranja ili tzv. kvazi-kontinuiranim postupkom sinteze, ali za te postupke potrebno je napraviti analitičko modeliranje sustava što je dosta zahtjevno i nije predmet ovog rada. Iz tog su razloga parametri PID regulatora dobiveni metodom pokušaja i pogrešaka uzeti kao zadovoljavajući.

6 ZAKLJUČAK

Eksperimentalnim ispitivanjem s priloženim rezultatima dokazano je da je PLC uređaj pogodan za regulaciju sile hidrauličke preše. Osim što je regulacija sile uspješno izvedena, moguće je vidjeti i velike prednosti vizualizacije prilikom korištenja eksperimentalnog sustava. Vizualizacija omogućuje vrlo jednostavno upravljanje hidrauličkom prešom i zadavanje referentnih vrijednosti, ali je odlična i za prikaz vrijednosti kao i za nadzor sustava. Vizualizaciju je moguće na vrlo jednostavan način dodatno nadograditi, a na taj način bi se sustav još više mogao prilagoditi za jednostavno korištenje u industriji.

Programiranje i konfiguracija *Beckhoff* PLC uređaja vrlo su jednostavni. Promjene u programu i konfiguraciji moguće je izvesti brzo i jednostavno, tako da se sustav lagano prilagođava za različite primjene.

Rezultati regulacije su zadovoljavajući s obzirom da se radi o ispitivanju na realnom sustavu, ali bi podešavanjem parametara PID regulatora mogli biti i bolji. Rezultati regulacije bi se mogli poboljšati na način da se prethodno modelira sustav i da se provedu testiranja odziva u otvorenom krugu.

PLC uređaji su vrlo prilagodljivi (poprilično jednostavno se prilagode za rad na novim sustavima), pouzdani i jednostavni. Kao i sva ostala tehnologija, i PLC uređaji se vrlo brzo razvijaju i poboljšavaju tako da *Beckhoff* i ostali proizvođači PLC uređaja često razvijaju nove uređaje, sa sve jačim procesorima i sve boljim modulima. S obzirom na sve navedeno, PLC uređaji će još dugo vremena biti u upotrebi.

Literatura

- [1] Šitum Ž.: Force and position control of a hydraulic press, Ventil, Vol. 17, No. 4, pp. 314-320, 2011.
- [2] Krovinić D.: „Osnove programiranja - TwinCAT“, Krovat, Zagreb, 2008.
- [3] Beckhoff: „Technical PLC Library – PC Controller Toolbox“, TwinCAT
- [4] Beckhoff: „Technical Data – Beckhoff PLC“, www.beckhoff.com
- [5] Šurina T.: „Automatska regulacija“, Školska knjiga, Zagreb, 1987.
- [6] Pavković D.: Predavanja iz kolegija "Neizrazito i digitalno upravljanje". FSB, Zagreb.